



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR – LABOMAR  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS**

**ROBERTA MORICONI FREIRE SCHARDONG**

**CULTIVO DAS HALÓFITAS, *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* E *Sporobolus virginicus*, COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS DA CRIAÇÃO DO CAMARÃO *Litopenaeus vannamei*: EXPERIMENTOS DE BANCADA EM SUBSTRATO COM AREIA E SISTEMA DE AQUAPONIA**

**FORTALEZA**

**2019**

ROBERTA MORICONI FREIRE SCHARDONG

CULTIVO DAS HALÓFITAS, *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* E *Sporobolus virginicus*, COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS DA CRIAÇÃO DO CAMARÃO *Litopenaeus vannamei*: EXPERIMENTOS DE BANCADA EM SUBSTRATO COM AREIA E SISTEMA DE AQUAPONIA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Análise de impactos ambientais das regiões oceânicas e costeiras.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Freire Moro.  
Coorientador: Prof. Dr. Oriel Herrera Bonilla.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- S326c Schardong, Roberta.  
Cultivo das halófitas, *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* e *Sporobolus virginicus*, com águas residuárias da criação do camarão *Litopenaeus vannamei* : Experimentos de bancada em substrato com areia e sistemas de aquaponia / Roberta Schardong. – 2019.  
133 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2019.  
Orientação: Prof. Dr. Marcelo Freire Moro.  
Coorientação: Prof. Dr. Oriel Herrera Bonilla.
1. Efluente de carcinicultura. 2. Plantas halófitas. 3. Carcinicultura. 4. Recirculação de água. I. Título.  
CDD 551.46
-

ROBERTA MORICONI FREIRE SCHARDONG

CULTIVO DAS HALÓFITAS, *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* E *Sporobolus virginicus*, COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS DA CRIAÇÃO DO CAMARÃO *Litopenaeus vannamei*: EXPERIMENTOS DE BANCADA EM SUBSTRATO COM AREIA E SISTEMA DE AQUAPONIA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Análise de impactos ambientais das regiões oceânicas e costeiras.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Marcelo Freire Moro (Orientador) - Presidente  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Michael Barbosa Viana (Membro Interno)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Carla Bastos Vidal (Membro Externo)  
Centro Universitário UniFanor

---

Profa. Dra. Ana Barbara de Araújo Nunes (Membro Externo)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Carlos Cunha Martins (Membro Externo)  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido

À minha mãe, Gilda Maria, e à minha sogra,  
Elsita Maria, pelo exemplo de dedicação e  
amor incondicional.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de doutorado.

À Prof<sup>ª</sup>. Sandra Tédde Santaella que orientou desde os primeiros desenhos experimentais desta pesquisa até a qualificação. E por tornar possível a montagem e realização dos experimentos devido à sua experiência profissional, à doação e ao empréstimo de materiais essenciais para a realização dos mesmos.

Ao Prof. Marcelo Freire Moro pela atenção e disponibilidade de dar continuidade à orientação para conclusão desta tese.

Ao Prof. Oriel Herrera Bonilla, que além de apoiar, acompanhar e coorientar a pesquisa, foi um incentivador incansável nos momentos mais difíceis.

Ao Prof. Alberto Jorge Pinto Nunes por disponibilizar os equipamentos do Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos para o desenvolvimento dos experimentos e análises químicas do Centro de Estudos Ambientais Costeiros – CEAC.

Ao pesquisador da Embrapa Renato Carrhá Leitão, pelo apoio e empréstimo de materiais que foram utilizados nos experimentos.

Aos alunos que auxiliaram nos experimentos e análises químicas. Em especial, aos graduandos João Pedro da Silva Oliveira, João Luís de Lima Carvalho, Tasso Jorge Tavares Ferreira, Antônio Derley de Sousa Pereira e Anne Larisse Alves Rebouças Gurgel. A técnica do Laboratório de Efluentes e Qualidade de Água, Daniele Bráz Azevedo Farias, pelo auxílio e paciência por ensinar as técnicas das primeiras análises químicas preliminares.

Aos trabalhadores do Centro de Estudo de Aquicultura Pesqueira - CEAC que prontamente cooperaram com os experimentos, em especial os funcionários Sandra Nascimento e Sebastião Júnior e o pesquisador Doutor Hassan Sabry-Neto.

À empresa ACS Engenharia Ambiental pela doação dos tanques de fibra para a realização dos primeiros experimentos de bancada.

Aos depósitos de construção Cláudio e Alvorada que apoiaram a pesquisa doando e vendendo produtos a preço de custo para a montagem das estruturas de cultivo das plantas em sistema de aquaponia.

Ao empresário e doutorando Bruno Scopel pelo apoio à pesquisa.

A todos os funcionários, colegas e professores com os quais tive a oportunidade de conviver no Labomar, trocar experiências, aprender e crescer como ser humano.

Ao professor Carlos Eduardo Peres Teixeira, coordenador do curso de Pós-Graduação quando ingressei no doutorado sempre muito atencioso e solícito. E ao professor Marcelo de Oliveira Soares, que assumiu o cargo quando eu estava na etapa final do doutorado, dando força e condições para que a defesa da Tese fosse dentro do prazo estipulado.

Aos amigos pelos bons conselhos nas horas mais precisas e pela compreensão pelos momentos que precisei distanciar-me.

Aos meus irmãos, cunhados e sobrinhos pela força, amizade e carinho.

À minha mãe, Gilda Maria, e à minha sogra, Elsita Maria, pelo incentivo e apoio dando atenção aos meus filhos nos momentos que precisei ausentar-me.

Aos meus filhos, Rafael, Ana e Sara, pela presença em minha vida. Pensar neles e num mundo melhor para as gerações futuras fez com que não desistisse perante todas as dificuldades e desafios.

“... a preservação dos recursos naturais  
perpassa pelas relações humanas”.

Dara Ni Menoitani



## RESUMO

A atividade aquícola produz alimento e gera renda, mas o descarte de efluentes com nutrientes dissolvidos e particulados nas águas receptoras, sem as devidas precauções, pode causar impactos ambientais. A integração entre a produção agrícola e aquícola pode ser uma solução viável para a otimização do uso da água com espécies vegetais que possam agregar renda à produção. Plantas halófitas apresentam características fisiológicas que possibilitam o cultivo com água de criação de camarão marinho, tanto para a remoção de nutrientes orgânicos da água quanto para a produção de biomassa vegetal. Sendo assim, o presente estudo investigou o cultivo das halófitas *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* e *Sporobolus virginicus* com águas residuárias de criação do camarão *Litopenaeus vannamei* e a determinação do teor de minerais da espécie *B. maritima*. Foram realizados experimentos de bancada em caixas de fibra de vidro e em sistema de aquaponia utilizando águas residuárias do camarão para o cultivo de halófitas. Nas caixas de fibra foi comparado o crescimento das espécies *B. maritima* e *S. virginicus* sob substrato de areia em cultivo com efluente de camarão e água do rio Pacoti, e; a remoção de ortofosfato, sólidos suspensos e nitrogênio de águas de criação de camarão em sistemas de recirculação. As plantas da espécie *B. maritima* cultivadas, em 0,37 m<sup>2</sup>, com efluente obtiveram ganho de biomassa de 83,76 gramas e para as que receberam água do Rio perderam biomassa. Partes aéreas dessa espécie apresentaram nitrogênio, fósforo e dióxido de sílica, além de outros minerais, em teores maiores quando cultivadas com efluente do que com água do Rio. Nos sistemas de bancada em aquaponia foram verificadas a interação do cultivo das espécies *B. maritima*, *S. ambigua* e *S. virginicus* com a criação do camarão *L. vannamei*; assim como, o comportamento de variáveis físico-químicas. Os resultados apresentaram diferenças significativas para amônia, sólidos suspensos totais e ortofosfato, sendo maiores nos tanques controle, sem plantas. E diferenças significativas para salinidade e sólidos dissolvidos totais com valores maiores nos tanques com plantas. Nos sistemas de aquaponia a espécie *B. maritima* obteve ganho de biomassa de 876,6 g em 0,5 m<sup>2</sup>, e a espécie *S. ambigua* ganho de 48,8 g em 0,16 m<sup>2</sup>. A espécie *S. virginicus* não sobreviveu em nenhum dos sistemas de cultivo testados. O desempenho zootécnico dos camarões não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos com plantas e controle. Os resultados encontrados indicam que o sistema de aquaponia integrando o cultivo das espécies *B. maritima* e *S. ambigua* com a criação do camarão *L. vannamei* pode ser promissor.

**Palavras-chave:** Efluente de carcinicultura. Plantas halófitas. Recirculação de efluente.

## ABSTRACT

The aquaculture activity produces food and generates income, but the discard of effluents with dissolved and particulate nutrients in receive waters can cause environmental impact. The integration between the agricultural and aquaculture production can be a viable solution to optimization use of water with plant species that can add income to production. The specific physiological characteristics of halophytes make it possible to associate the culture of these species with the activity of creating saltwater shrimp, both for removal of organic nutrients and for the production of vegetal biomass. Therefore, the present study investigated of cultivating the halophytes *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* and *Sporobolus virginicus* with wastewater from shrimp farming and the determination of minerals in the species *B. maritima*. In the study were carried out bench experiments in fiberglass boxes and in aquaponics systems using wastewater from shrimp farming *Litopenaeus vannamei* for the cultivation of halophytes. In the fiber tanks the growth of the species *B. maritima* and *S. virginicus* was compared when cultivated with shrimp culture water and when cultivated with water from the Pacoti river; the removal of orthophosphate, suspended solids and nitrogen from shrimp wastewater in recirculation systems. The *B. maritima* cultivated in 0.4 m<sup>2</sup> with effluent obtained a biomass gain of 84.8 grams and that received water from the river loss of biomass. The cultivation of plants with effluent presented nitrogen, phosphorus and silica dioxide and other minerals in greater quantity than those cultivated with water from the river. In the aquaponics systems the interaction of the culture of the species *B. maritima* e *S. ambigua* with the creation of the *L. vannamei* shrimp promoted the removal of nitrogen nutrients, orthophosphate and total suspended solids in the presence of plants. In the aquaponics systems the species *B. maritima* obtained biomass gain of 876.6 grams in 0.5 m<sup>2</sup>, and the *S. ambigua* species gained 48.8 grams in 0.16 m<sup>2</sup>. The *S. virginicus* species did not survive in any of the culture systems tested. The zootechnical performance of the shrimps did not present significant differences between the treatments with plants and control. The results indicate that the aquaponic system integrating the cultivation of the species *B. maritima* and *S. ambigua* with the creation of *L. vannamei* shrimp can be promising.

**Keywords:** Shrimp farming effluent. Halophytic plants. Effluent recirculation.

## LISTA DE FIGURAS

### 1. INTRODUÇÃO

- Figura 1 – Espécie *Batis maritima*, plantas cultivadas em sistema de aquaponia (A) e plantas cultivadas no solo com água residuária de criação de camarão (B) .. 24
- Figura 2 – Espécie *Sporobolus virginicus* às margens do estuário do Rio Pacoti, município de Eusébio, Ceará (A), detalhe da muda (B) ..... 25
- Figura 3 – Espécie *Sarcocornia ambigua* cultivada no Centro de Estudos em Aquicultura Costeira, no município de Eusébio, Ceará (A), detalhe das partes aéreas (B) ..... 26

### CAPÍTULO I

- Figura 1 – Desenho e maquetes com folhas de isopor dos sistemas de fibra de vidro .... 43
- Figura 2 – Plantas baixa e de corte transversal do sistema, em AutoCad ..... 43
- Figura 3 – Sistemas de fibra de vidro, vista em dois ângulos ..... 44
- Figura 4 – Fluxo de água da entrada do sistema até a saída ..... 45
- Figura 5 – Sistemas de fibra de vidro: compartimentos sem brita e areia (A), primeiro compartimento preenchido com brita e outros três com areia (B) ..... 45
- Figura 6 – Montagem de cobertura para instalação dos sistemas com a fixação das estacas no chão (A) e do plástico transparente por cima (B) ..... 46
- Figura 7 – Nivelamento do solo (A), instalação dos sistemas (B) e disposição dos recipientes próximos a entrada de cada sistema (C) ..... 47
- Figura 8 – Montagem do experimento: (A) recipientes, decantadores – D, de água/efluente para encaminhamento aos sistemas, e (B) os recipientes, receptores – R, com tampas alaranjadas, enterrados após os sistemas para o recebimento da água/efluente por gravidade ..... 47
- Figura 9 – Torneira do recipiente (A) e marcação do volume morto do recipiente (B) .. 47
- Figura 10 – Bombas dosadoras, mangueiras pneumáticas azuis e recipientes com água/efluente (A). Cobertura dos sistemas com sombrite (B) ..... 48

Figura 11 – Remanejamento do local dos sistemas: vista lateral (A); vista frontal com cobertura de telhas (B); sistemas, visão lateral (C); casa de bombas com os tanques enterrados (D); sistemas com plantas cultivadas, vista de frente (E)	49
Figura 12 – Protótipos para cultivo de halófitas em: sistema de calha (A); conexões de cano PVC (B); suporte móvel (C); cano PVC de 40 mm e bomba d'água elétrica (D); cano PVC de 40 mm e bomba d'água a energia solar (E); cano PVC de 50 mm e bomba d'água a energia solar (F); protótipo definitivo referente ao experimento do capítulo três, visão lateral (G) e frontal (H) .....	50
Figura 13 – Maquete em sistema de bancada hidropônica para cultivo de plantas, vista em dois ângulos .....	50
Figura 14 – Estrutura para cultivo das plantas <i>Batis maritima</i> e <i>Sporobolus virginicus</i> construídas com conexões tê de PVC, 32 mm, com cultivo em NFT (A) e em suporte de espuma fenólica (B) .....	51
Figura 15 – Montagem de estrutura em cano PVC para cultivo de plantas: encaixe conexões (A), vedação com plástico das conexões nas extremidades (B), colagem das conexões (C), colagem dos canos PVC (D), abertura de buracos de 2,5 cm, (E), encaixe e colagem das conexões (F), cultivo das mudas em suporte de esponja fenólica (G) .....	52
Figura 16 – Protótipos com placas solares: estruturas de cano PVC e conexões de 40 mm (A), de cano PVC de 50 mm e conexões de 20 e 50 mm .....	53
Figura 17 – Protótipos com bomba d'água elétrica: com suporte de apoio lateral (A) e suporte de apoio nas pontas (B) .....	53
Figura 18 – Detalhes e acessórios do tanque de criação de camarão .....	54
Figura 19 – Detalhes da estrutura para cultivo das plantas construída em cano de PVC, com cap nas extremidades livres e com conexões, tê e de redução do cano de 40 para 20 mm .....	55
Figura 20 – Sistema de aeração dos tanques (A) e casa de sopradores (B) .....	55
Figura 21 – Sistema de aquaponia: estrutura de cultivo de plantas halófitas e tanque de criação de camarão. Início do experimento, descrito no capítulo três, com mudas de <i>Batis maritima</i> (A) e ao final do experimento de bancada com	

	<i>Batis maritima</i> , <i>Sporobolus virginicus</i> e <i>Sarcocornia ambigua</i> .....	56
Figura 22	– Experimento de bancada com as estruturas de aquaponia instaladas (A) e área experimental coberta com telhas translúcidas e sombrite 50% (B) .....	56
Figura 23	– Experimento sem recirculação de água, cultivo de plantas halófitas com água residuária de camarão (A) e com água do rio Pacoti (B). Experimento com recirculação de água, cultivo de halófitas integrada à criação de camarão (C) .....	57
<b>CAPÍTULO II</b>		
Figura 1	– Esquema do primeiro experimento Sistemas: S1 – com plantas e água do Rio ( $P_{rio}$ ); S2 – com plantas e efluente (P); S3 – sem plantas e com efluente (C – Controle) .....	66
Figura 2	Esquema do segundo experimento. Sistemas: S1 – controle sem plantas e sem substrato ( $C_{ss}$ ); S2 – controle sem plantas e com substrato ( $C_{rec}$ ); S3 – com plantas e com substrato ( $P_{rec}$ ) .....	67
Figura 3	– PCA das variáveis físico-químicas da água e do efluente na entrada e na saída dos sistemas um e dois, no período de 111 dias, durante o período que as plantas entraram nos sistemas .....	73
<b>CAPÍTULO III</b>		
Figura 1	– Desenho experimental para avaliação da efetividade de halófitas no tratamento de águas residuárias de camarão. Unidades de Tratamento Controle ( $C_{Aq}$ ), sem plantas, e Experimental ( $P_{Aq}$ ), com cultivo das plantas, (A) foto e (B) esquema .....	96
Figura 2	– Estrutura de cultivo das plantas halófitas. (A) Foto do sistema de aquaponia e (B) esquema da mesma estrutura mostrando a distribuição de cada espécie .....	97
Figura 3	– Biplot dos componentes principais (CP1 x CP2) das réplicas dos tanques de criação de camarão do tratamento experimental e do tratamento controle, em relação às variáveis físico-químicas: A) 2ª semana, 8º dia, e B) 8ª semana, 56º dia .....	102

#### **CAPÍTULO IV**

Figura 1	– Foto (A) e esquema (B) dos sistemas para cultivo de <i>Batis maritima</i> irrigadas com água do rio Pacoti e com efluentes de carcinicultura .....	117
Figura 2	– Preparo das amostras secas: trituração das folhas com almofariz e pistilo de porcelana .....	119
Figura 3	– PCA das variáveis físico-químicas da água do Rio e do efluente na entrada e na saída dos sistemas de cultivo, no período de 128 dias .....	125

## LISTA DE GRÁFICOS

### CAPÍTULO II

- Gráfico 1 – Gráfico de linhas das variáveis: temperatura, pH e oxigênio dissolvido da água do Rio e do efluente nos recipientes de entrada e de saída dos sistemas ( $P_{\text{rio}}$ , P e C), em 128 dias ..... 71
- Gráfico 2 – Gráfico de linhas das variáveis: TDS, salinidade, TSS e ortofosfato da água do rio e dos efluentes nos recipientes de entrada e de saída dos sistemas ( $P_{\text{rio}}$ , P e C), durante 128 ..... 72
- Gráfico 3 – Pontos e linhas diários das variáveis temperatura (A), pH (B), salinidade (C) e TDS (D) da água de recirculação de tanques com camarão durante 70 dias ..... 74
- Gráfico 4 – Gráfico de linhas mostrando os valores das variáveis obtidas da água de recirculação de tanques com camarão, ao longo de 70 dias: (A) TSS, (B) ortofosfato, (C) amônia, (D) nitrito e (E) nitrato ..... 75
- Gráfico 5 – Desenvolvimento de halófitas da espécie *Batis maritima* cultivadas com água do rio ( $P_{\text{rio}}$ ) e efluente (P) do Experimento 1: linhas representando a altura da média e erro padrão (A), e boxplot com medianas, quartis e outliers para massa inicial e final (B) ..... 76
- Gráfico 6 – Crescimento em altura com média e erro padrão ao longo de 70 dias (A), e boxplot de medianas, quartis e outliers da massa inicial e final (B), das espécies *B. maritima* (B.m.), *S. ambigua* (S.a.) e *S. virginicus* (S.v.), do Experimento 2 ..... 76
- Gráfico 7 – Taxas de Crescimento Relativo (TCR) e Absoluto (TCA), referentes à altura de *Batis maritima*, dos experimentos 1 e 2 ..... 77
- Gráfico 8 – Pontos e linhas da temperatura, pH e salinidade, ao longo de 70 dias, no Experimento 2. A linha tracejada em vermelha (----) são os limites, máximo e mínimo, para a faixa recomendável ao cultivo de camarão de cada variável: (A) Temperatura, (B) pH e (C) salinidade .. ..... 79
- Gráfico 9 – Pontos e linhas da amônia e nitrito, em 70 dias, no Experimento 2. A linha tracejada vermelha (----) são os limites, máximo e mínimo, para a faixa

recomendável ao cultivo de camarão de cada variável: (A) Amônia e (B) Nitrito .....	79
---	----

### CAPÍTULO III

Gráfico 1 – Boxplot das variáveis salinidade (A), ortofosfato (B), sólidos totais dissolvidos (C), sólidos suspensos totais (D), amônia (E) e pH (F) no período de oito semanas, dos tratamentos controle – C <sub>aq</sub> (n=4) e experimental – P <sub>aq</sub> (n=4). Medições individuais para cada variável em cada semana (dados brutos) podem ser baixados no material suplementar <a href="http://doi.org/10.6084/m9.figshare.7878179">http://doi.org/10.6084/m9.figshare.7878179</a> .....	100
Gráfico 2 – Boxplot das variáveis temperatura (A), oxigênio dissolvido (B), nitrato (C) e nitrito (D) no decorrer de oito semanas para os tratamentos controle – C <sub>aq</sub> (n=4) e experimental – P <sub>aq</sub> (n=4) .....	101
Gráfico 3 – Gráfico de linhas dos tratamentos controle - C <sub>aq</sub> (A) e experimental com plantas - P <sub>aq</sub> (B) com os valores de amônia (N-NH <sub>3</sub> ), nitrito (N-NO <sub>2</sub> -) e nitrato (N-NO <sub>3</sub> -), transformados por rank .....	101
Gráfico 4 – Gráfico de linhas o valor médio e erro padrão para o volume de água perdido nas réplicas do tratamento controle – C <sub>aq</sub> (n=4) e tratamento experimental – P <sub>aq</sub> (n=4) .....	103
Gráfico 5 – Crescimento em altura com média e erro padrão (A), e boxplot com medianas, quartis e outliers para massa inicial e final (B), das espécies <i>Batis maritima</i> e <i>Sarcocornia ambigua</i> .....	103
Gráfico 6 – Gráfico temporal com os valores médios semanais e erro padrão das variáveis: temperatura (A), salinidade (B), pH (C) e oxigênio dissolvido (D) das réplicas controle (C <sub>aq</sub> , n=4) e experimental (P <sub>aq</sub> , n=4). A linha tracejada vermelha (-----) representa a faixa recomendável para o cultivo de camarão .....	105
Gráfico 7 – Gráfico temporal com os valores médios semanais e erro padrão das variáveis: amônia (A), nitrito (B), nitrato (C) e sólidos suspensos totais (D) para as réplicas controle (C <sub>aq</sub> – n=4) e experimental (P <sub>aq</sub> – n=4). A linha tracejada vermelha (-----) representa a faixa recomendável para o cultivo de camarão de cada variável .....	106



## CAPÍTULO VI

- Gráfico 1 – Desenvolvimento das mudas de *Batis maritima* cultivadas com água do rio Pacoti e com efluente de carcinicultura: gráfico de linhas do crescimento em altura semanal com média e erro padrão (A), e boxplot da massa inicial e final (B) ..... 121
- Gráfico 2 – Gráfico com a disposição espacial do teor de minerais nas partes aéreas (caules com folhas) das plantas de *Batis maritima* cultivadas com água do Rio e com efluente da criação de camarão ..... 122
- Gráfico 3 – Gráfico de linhas das variáveis: temperatura, pH e oxigênio dissolvido da água do Rio e do efluente nos recipientes de entrada e de saída, durante 128 dias. Linha vertical em vermelho separando o período anterior e posterior ao plantio das halófitas ..... 123
- Gráfico 4 – Gráfico de linhas das variáveis: sólidos dissolvidos totais, salinidade, sólidos suspensos totais e ortofosfato da água do Rio e do efluente nos recipientes de entrada e de saída, durante 128 dias. Linha vertical em vermelho separando o período anterior e posterior ao plantio das halófitas ..... 124

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO II

Tabela 1 – Taxa de Crescimento Relativo (TCR) e Taxa de Crescimento Absoluto (TCA), produção e sobrevivência das mudas das espécies <i>Batis maritima</i> e <i>Sarcocornia ambigua</i> cultivadas nos experimentos 1 e 2 .....	78
Tabela 2 – Índice de produção do <i>Litopenaeus vannamei</i> , criado em densidade de 260 camarões por m <sup>3</sup> , ao longo de 70 dias .....	78
Tabela 3 – Parâmetros recomendados de qualidade da água para cultivo de camarão ...	82
Tabela 4 – Parâmetros recomendados de qualidade da água para cultivo de camarão ...	85

### CAPÍTULO III

Tabela 1 – Taxa de Crescimento Relativo (TCR) e Taxa de Crescimento Absoluto (TCA), produção e sobrevivência das mudas das espécies <i>Batis maritima</i> e <i>Sarcocornia ambigua</i> cultivadas .....	104
Tabela 2 – Índice de produção do <i>Litopenaeus vannamei</i> , densidade de 254 camarões por m <sup>3</sup> , em 56 dias .....	105
Tabela 3 – Peso médio final (g), biomassa final (kg m <sup>-3</sup> ), fator de conversão alimentar (FCR) e sobrevivência (%) do camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> relatado por Baloi ( <i>et al.</i> , 2013), Arantes ( <i>et al.</i> , 2017) e Pinheiro ( <i>et al.</i> , 2017) .....	109

### CAPÍTULO IV

Tabela 1 – Análise de solo do substrato utilizado nos sistemas: composição granulométrica e complexo sortivo .....	117
Tabela 2 – Teor de minerais nas partes aéreas (caules com folhas) das plantas <i>Batis maritima</i> cultivadas com água do Rio e com efluente da criação de camarão .....	122
Tabela 3 – Análise de solo da areia: cálcio (Ca <sup>2+</sup> ), magnésio (Mg <sup>2+</sup> ), sódio (Na <sup>+</sup> ), potássio (K <sup>+</sup> ), carbono (C), matéria orgânica (MO), fósforo (P), dióxido de silício (SiO <sub>2</sub> ) .....	123

## LISTA DE ANEXOS

### CAPÍTULO II

Anexo 1 – Teste de hipótese para amostras independentes do Experimento 2 .....	89
Anexo 2 – Tabela do crescimento em altura (cm) das plantas <i>Batis maritima</i> cultivadas com água do Rio Pacoti (Sistema 1 - P <sub>rio</sub> ) .....	90
Anexo 3 – Tabela do crescimento em altura (cm) das plantas <i>Batis maritima</i> cultivadas com efluente da criação de camarão (Sistema 2 - P).....	91
Anexo 4 – Tabela da massa (g) das plantas <i>Batis maritima</i> (B) cultivadas com água do Rio Pacoti (Sistema 1 - P <sub>rio</sub> ) e efluente da criação de camarão (Sistema 2 - P) .....	92

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BFT	Tecnologia de bioflocos
CEAC	Centro de Estudos de Ambientais Costeiros
CP1	Componente Principal 1 da Análise de componente principal
CP2	Componente Principal 2 da Análise de componente principal
D	Recipiente Decantador
EC	Condutividade elétrica
FDID	Fundo de Defesa dos Direitos Difusos do Estado do Ceará
FCR	Fator de Conversão Alimentar
FUNCAP	Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico
LABOMAR	Instituto de Ciências do Mar
LANOA	Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos
NFT	Nutrient Film Technique ou Técnica do Fluxo Laminar
PCA	Análise de componente principal
PLs	Pós-larvas
PVC	Policloreto de polivinila (ou policloreto de vinil)
R	Recipiente Receptor
TCA	Taxa de Crescimento Absoluto
TCR	Taxas de Crescimento Relativo
SST	Sólidos Suspensos Totais
UECE	Universidade Estadual do Ceará
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
USA	Estados Unidos da América

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
”	Polegadas
Al <sup>+3</sup>	Íon alumínio
C	Carbono
Ca <sup>2+</sup>	Íon cálcio
cm	Centímetro
cm.d <sup>-1</sup>	Centímetro por dia
cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup>	Centimol de carga por kg
CO <sub>2</sub>	Gás carbônico
Cu	Cobre
Fe	Ferro
g	Gramas
g.semana <sup>-1</sup>	Gramas por semana
g.kg <sup>-1</sup>	Gramas por quilograma
g.m <sup>-2</sup>	Gramas por metro quadrado
g.m <sup>-3</sup>	Gramas por metro cúbico
H	Hidrogênio
h	Hora
H <sup>+</sup>	Íon de hidrogênio
K	Potássio
K <sup>+</sup>	Íon potássio
kg.m <sup>3</sup>	Quilograma por metro cúbico
l	Litro
m	Metro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
Max	Número máximo
mg.kg <sup>-1</sup>	Miligramas por quilograma
mg.l <sup>-1</sup>	Miligramas por litro
Mg <sup>2+</sup>	Íon magnésio
min	Minuto
Min	Número mínimo
ml	Mililitro
ml.min <sup>-1</sup>	Mililitro por minuto
mm	Milímetro
mM	Milimolar
mmol.l <sup>-1</sup>	Milimol por litro
Mn	Manganês
MO	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
n	Número
Na <sup>+</sup>	Íon sódio
NaCl	Cloreto de sódio
NH <sub>3</sub>	Amônia
N-NH <sub>3</sub>	Nitrogênio de amônia
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Nitrogênio de nitrito
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrogênio de nitrato
nº	Número

NO <sub>2</sub> -	Nitrito
NO <sub>3</sub> -	Nitrato
Ø	Diâmetro
°C	Graus Celsius – medida de temperatura
P	Fósforo
ppm	Partes por milhão
ppt	Partes por trilhão
PSU	Unidade de Salinidade Prática
sd	Desvio padrão
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de silício

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	22
<b>1.1 Revisão bibliográfica</b> .....	23
<b>1.1.1 Plantas halófitas</b> .....	23
1.1.1.1 <i>Espécie: Batis maritima L.</i> .....	24
1.1.1.2 <i>Espécie: Sporobolus virginicus (Linnaeus) K. Kunth</i> .....	25
1.1.1.3 <i>Espécie: Sarcocornia ambigua (Michx.) M.A. Alonso &amp; M.B. Crespo</i> .....	26
<b>1.1.2 Cultivo de halófitas</b> .....	27
1.1.2.1 <i>Sistemas de cultivo</i> .....	27
1.1.2.2 <i>Dados de produção em diferentes condições de cultivo</i> .....	30
<b>1.2 Objetivos</b> .....	32
<b>1.2.1 Objetivo geral</b> .....	32
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	33
<b>1.3 Hipóteses</b> .....	33
<b>1.4 Formatação da Tese</b> .....	34
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	35
<b>CAPÍTULO I – ELABORAÇÃO E TESTAGEM DE EQUIPAMENTOS PARA EXPERIMENTOS DE BANCADA EM AQUAPONIA</b> .....	40
Resumo .....	40
<b>I.1 Introdução</b> .....	40
<b>I.2 Materiais e Métodos</b> .....	42
<b>I.2.1 Sistemas de fibra de vidro: elaboração, construção e montagem das estruturas</b> .....	42
<b>I.2.2 Aquaponia: estrutura de cultivo para as plantas, tanques de criação de camarão e acessórios</b> .....	49
<b>I.3 Resultados e discussão</b> .....	57
<b>I.3.1 Sistemas de fibra de vidro</b> .....	57
<b>I.3.2 Aquaponia: estrutura de cultivo para as plantas, tanques de criação de camarão e acessórios</b> .....	58
<b>I.4 Considerações finais</b> .....	59
Referências .....	59

<b>CAPÍTULO II – CULTIVO DE <i>Batis maritima</i>, <i>Sarcocornia ambigua</i> E <i>Sporobolus virginicus</i> COM ÁGUA RESIDUÁRIA DO CULTIVO DE <i>Litopenaeus vannamei</i> ...</b>	62
Resumo .....	62
Abstract .....	62
<b>II.1 Introdução .....</b>	<b>63</b>
<b>II.2 Materiais e Métodos .....</b>	<b>65</b>
<b>II.2.1 Funcionamento dos experimentos .....</b>	<b>65</b>
<b>II.2.2 Determinação das variáveis físico-químicas das águas .....</b>	<b>68</b>
<b>II.2.3 Preparo das mudas, cultivo e coleta de dados .....</b>	<b>68</b>
<b>II.2.4 Sistema de cultivo dos camarões, coleta de dados e cálculos .....</b>	<b>69</b>
<b>II.2.5 Análises estatísticas .....</b>	<b>70</b>
<b>II.3 Resultados .....</b>	<b>71</b>
<b>II.3.1 Variáveis físico-químicas .....</b>	<b>71</b>
II.3.1.1 Experimento 1 .....	71
II.3.1.2 Experimento 2 .....	73
<b>II.3.2 Produção e taxa de sobrevivência das halófitas .....</b>	<b>75</b>
<b>II.3.3 Camarões: desempenho zootécnico e taxa de sobrevivência .....</b>	<b>78</b>
<b>II.4 Discussão .....</b>	<b>80</b>
<b>II.4.1 Variáveis físico-químicas .....</b>	<b>80</b>
<b>II.4.2 Produtividade das halófitas cultivadas .....</b>	<b>82</b>
<b>II.4.3 Desempenho zootécnico do camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> .....</b>	<b>84</b>
Referências .....	85

<b>CAPÍTULO III – AQUAPONIA COM A CRIAÇÃO DO CAMARÃO <i>Litopenaeus vannamei</i> E O CULTIVO DAS HALÓFITAS <i>Batis maritima</i>, <i>Sarcocornia ambigua</i> E <i>Sporobolus virginicus</i> .....</b>	<b>93</b>
Resumo .....	93
<b>III.1 Introdução .....</b>	<b>93</b>
<b>III.2 Materiais e Métodos .....</b>	<b>95</b>
<b>III.2.1 Cenário experimental .....</b>	<b>95</b>
<b>III.2.2 Desenho experimental e operacionalização .....</b>	<b>95</b>
<b>III.2.3 Água: amostragem e métodos analíticos .....</b>	<b>96</b>



<i>III.2.4 Halófitas: cultivo e coleta e tratamento de dados</i> .....	97
<i>III.2.5 Camarões: criação e coleta e tratamento dos dados</i> .....	98
<i>III.2.6 Análises estatísticas</i> .....	99
<b>III.3 Resultados</b> .....	99
<i>III.3.1 Variáveis físico-químicas da água</i> .....	99
<i>III.3.2 Produção e taxa de sobrevivência das halófitas</i> .....	103
<i>III.3.3 Índice de produção de <i>Litopenaeus vannamei</i></i> .....	104
<b>III.4 Discussão</b> .....	106
<i>III.4.1 Variáveis físico-químicas</i> .....	106
<i>III.4.2 Produção de halófitas</i> .....	108
<i>III.4.3 Desempenho zootécnico do camarão <i>Litopenaeus vannamei</i></i> .....	109
<b>III.5 Conclusão</b> .....	110
<b>Referências</b> .....	111

**CAPÍTULO IV – DESENVOLVIMENTO E TEOR DE MINERAIS DE *Batis maritima* CULTIVADA COM EFLUENTE DE CAMARÃO *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931)** .....

Resumo .....	114
<b>IV.1 Introdução</b> .....	114
<b>IV.2 Materiais e Métodos</b> .....	116
<i>IV.2.1 Preparo das mudas e cultivo</i> .....	116
<i>IV.2.2 Substrato de cultivo das plantas: coleta de amostras e análises</i> .....	118
<i>IV.2.3 Medições, coleta e preparo das amostras de plantas</i> .....	119.
<i>IV.2.4 Determinação de minerais das partes aéreas das plantas</i> .....	120
<i>IV.2.5 Água do rio Pacoti e efluente da criação de camarões: medições, coleta de amostras e análises</i> .....	120
<i>IV.2.6 Análises estatísticas</i> .....	120
<b>IV.3 Resultados</b> .....	121
<b>IV.4 Discussão</b> .....	125
<b>IV.5 Conclusões</b> .....	127
<b>Referências</b> .....	128

<b>2. CONCLUSÃO DA TESE .....</b>	<b>131</b>
<b>3. CONSIDERAÇÕES FINAIS DA TESE .....</b>	<b>132</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A população mundial estimada em 9,73 bilhões, em 2050, e 11,2 bilhões, em 2100, precisará produzir mais alimentos para atender a essa demanda, o que exercerá maior pressão sobre os recursos terrestres e hídricos existentes (FAO, 2017). O aumento da produção em grande escala, a erosão e a salinização dos solos associados aos fatores causados pelas mudanças climáticas ocasionarão a redução maior das áreas continentais disponíveis para a agricultura (FAO, 2017). Uma das alternativas apontadas é integrar a aquicultura e a agricultura para produção de espécies vegetais tolerantes a salinidade (FAO, 2017), produção de proteína animal e otimização do uso da água (MARISCAL-LARGADA *et al.*, 2012).

A atividade de aquicultura tem sido lucrativa e, conseqüentemente, crescido ao longo do tempo (GODFRAY *et al.*, 2010). Além disso, a aquicultura tem projetado-se como solução para a segurança alimentar atual e futura, apresentando crescimento mais rápido que a agricultura com 8,3% de aumento anual, desde 1970 (DUARTE *et al.*, 2009). No mundo, mais de três milhões de pessoas ingerem proteína originária da pesca e aquicultura, as quais fornecem 15% da proteína consumida (RIVERA *et al.*, 2017).

A atividade aquícola é promissora, mas o descarte de seus efluentes pode causar impacto nos ecossistemas aquáticos receptores (LUNA *et al.*, 2013). Águas residuárias da criação de camarão, quando descartadas em ambientes costeiros sem o devido tratamento, podem acarretar depleção de oxigênio na água, redução da transparência da água, mudanças na macrofauna bêntica e eutrofização (FERREIRA *et al.*, 2011). E métodos tradicionais empregados para o tratamento do efluente em fazendas de criação de camarão encarecem o custo do empreendimento podendo tornar a implantação inviável (RIBEIRO *et al.*, 2014).

A redução da carga de nutrientes orgânicos e inorgânicos em águas residuárias da criação, gerado pela sobra de ração e fezes do camarão marinho, é possível utilizando-se plantas comercializáveis (WEBB *et al.*, 2012) em sistemas integrados de cultivo, denominado sistema de aquaponia (PINHEIRO, 2015). Essas espécies vegetais devem ser adaptadas a ambientes salinos, como no caso das halófitas (BELL, O'LEARY, 2003).

Existem halófitas que apresentam valor nutricional, medicinal e artesanal (KSOURI *et al.*, 2012), além de servirem como subprodutos utilizados na produção de biodiesel (SOTIROUDIS *et al.*, 2010). De acordo com Shaer (2010), muitas halófitas podem ser consideradas como fontes potenciais de nitrogênio e minerais para ovinos e caprinos, sendo utilizadas em complemento a dietas de baixa qualidade. Além disso, halófitas são plantas de crescimento rápido que removem carbono da atmosfera (GLENN *et al.*, 1992).

Duas espécies halófitas do nordeste do Brasil, a *Batis maritima* L e a *Sporobolus virginicus* (Linnaeus) K. Kunth são citadas para alimentação de caprinos e uso medicinal na cultura tradicional (LONARD *et al.*, 2011; LONARD *et al.*, 2013). Outra espécie de ocorrência em Santa Catarina, aclimatada no Ceará, a *Sarcocornia ambigua* (Michx.) M.A. Alonso & M.B. Crespo, tem espécies similares ricas em nutrientes e consumidas em saladas na Europa (VENTURA, *et al.*, 2011). Espécies halófitas podem ser comercialmente promissoras se cultivadas com águas residuárias de criação de camarão, além de removerem substâncias nitrogenadas e fósforo do efluente (CASTILHO-BARROS *et al.*, 2018).

Dessa forma, o presente estudo investigou a produção das halófitas *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* e *Sporobolus virginicus* e do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) e o comportamento das variáveis físico-químicas do efluente quando o cultivo das plantas foi em substrato de areia e em sistema de aquaponia. Assim como, a comparação do teor de minerais da espécie *Batis maritima* cultivada com água do estuário do Rio Pacoti e água residuária da criação do camarão *Litopenaeus vannamei*.

## 1.1 Revisão Bibliográfica

As características e aplicações das halófitas *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* e *Sporobolus virginicus*, escolhidas para esse estudo, e pesquisas de cultivo de halófitas são apresentadas nessas próximas seções.

### 1.1.1 Plantas halófitas

Halófitas (halos = sal, phyton = planta) são definidas como espécies de plantas que crescem naturalmente em habitats salinos (SQUIRES, AYOUB, 1992). São plantas que desenvolveram mecanismos para crescerem em ambientes com altas concentrações de sódio e algumas necessitam dele como nutriente (RAVEN *et al.*, 2007). Elas não são apenas um grupo taxonômico e estão representadas por espécies de arbustos, gramíneas e árvores, sendo sua natureza e ecologia consideradas muito complexas (SQUIRES, AYOUB, 1992).

As halófitas apresentam composição química e características fisiológicas especiais pela adaptação que desenvolveram durante muito tempo para conseguirem sobreviver em ambientes salinos (BUHMANN; PAPENBROCK, 2013). Há variações nas adaptações desenvolvidas pelas halófitas e muitas delas, para manterem concentrações baixas de sódio dentro das suas células, utilizam bomba de potássio e sódio para reenviar o sódio

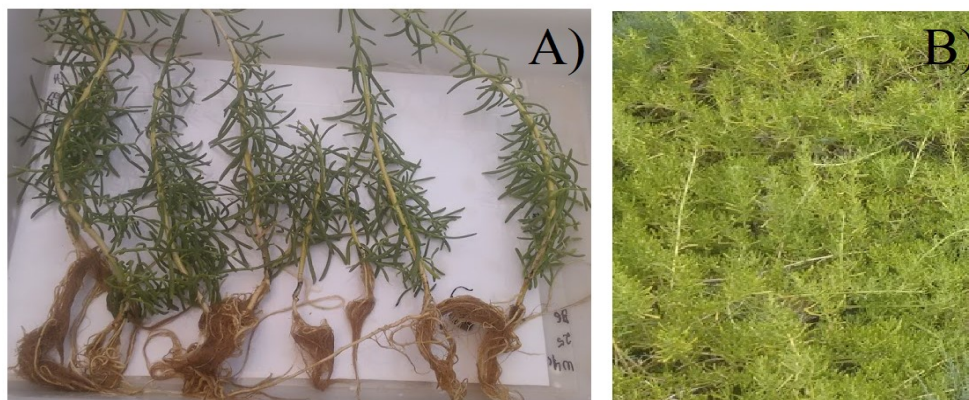
absorvido de volta ao ambiente e bombear potássio para dentro das células (RAVEN *et al.*, 2007). Outras halófitas, depois de absorverem o sódio do ambiente, secretam o mesmo ou o isolam do citoplasma de suas células (RAVEN *et al.*, 2007).

As espécies *Batis maritima* e *Sporobolus virginicus* são encontradas naturalmente na região costeira do Ceará e também às margens do estuário do Rio Pacoti, no município de Eusébio, Ceará, crescendo, naturalmente, em áreas alagadiças sob regime das marés. A espécie *Sarcocornia ambigua*, que ocorre em Santa Catarina, adaptou-se bem ao clima nordestino tendo sido produzida experimentalmente com efluente de viveiro de camarão numa fazenda do litoral cearense (COSTA *et al.*, 2006).

#### 1.1.1.1 Espécie: *Batis maritima* L.

A planta *Batis maritima* Linnaeus (Figura 1) é caracterizada como subarbusto, perene, díóica e produz biomassa sob diferentes níveis de estresse salino (MARCONE, 2003). Pertence à família Batacea, constituída por apenas um gênero, sendo a única espécie de ocorrência no Brasil em dunas do litoral nordestino (SOUZA, LORENZI, 2008). Segundo a Flora Brasiliensis (2005) há provável ocorrência na região Sudeste (Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo), além dos locais já confirmados no Nordeste (Maranhão e Rio Grande do Norte). Conforme Lonard (*et al.*, 2011) é uma planta perene, subtropical e tropical, com ampla distribuição nas Américas e nas Ilhas do Caribe que ocorre em restingas, marismas e manguezais com salinidades variando entre 18 a 50 PSU.

Figura 1 – Espécie *Batis maritima*, plantas cultivadas em sistema de aquaponia (A) e plantas cultivadas no solo com água residuária de criação de camarão (B).



Fonte: imagens feitas pela autora.

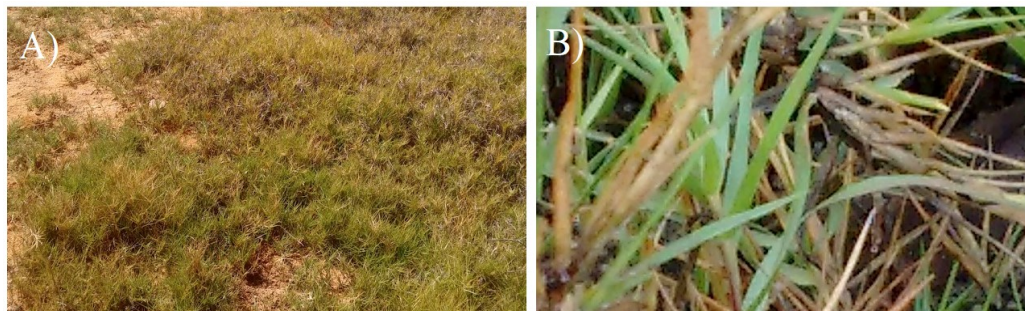
A importância descrita na literatura para esta espécie é de proteção de zonas costeiras e estabilizadora de substrato; cultura potencial para solos salinizados; as raízes são usadas, pelos índios Comia'ac, como adoçante para o café; as suas folhas usadas em saladas em Porto Rico; fornece nutrição e cobertura para animais selvagens; na medicina popular porto riquense é utilizada no tratamento de gota, eczema, psoríase, reumatismo, sangue e distúrbios da tireóide; na Península de Yucatán no México é usada para curar infecções cutâneas (LONARD *et al.*, 2011).

A composição química das sementes dessa espécie, com tamanho menor a 1,0 mm e peso abaixo de 0,5 mg, apresenta 87,3% de proteína e 17,3 a 25% de óleo (MARCONE, 2003). A parte proteica é rica em lisina e metionina, aminoácidos essenciais, sendo encontrada pouca atividade inibidora de tripsina (MARCONE, 2003). A fração de óleo presente possui alto grau de insaturação, cerca de 93%, sendo considerado de alta qualidade (MARCONE, 2003). O perfil de ácidos graxos é muito parecido ao do óleo de cártamo apresentando C16: 0, 5,5%, C16: 1, 1,1%, C18: 0, 1,2%, C18: 1, 17,8%, C18: 2, 73,0% e C18: 3, 1,4%, sendo mais rico em antioxidantes lipossolúveis do que o óleo do cártamo. O  $\alpha$ ,  $\delta$  e  $\gamma$  - tocoferóis apresenta 526,4, 117,5 e 27,4 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente, o que favorece a estabilidade oxidativa do óleo (MARCONE, 2003).

#### 1.1.1.2 Espécie: *Sporobolus virginicus* (Linnaeus) K. Kunth

A espécie *Sporobolus virginicus* (Linnaeus) K. Kunth (Figura 2), da família Poaceae (Gramineae), é uma grama C4 halofítica, rizomatosa, perene com colmos eretos (BLITS *et al.*, 1991). Apresenta ampla distribuição nas costas dos hemisférios norte e sul (LONARD *et al.*, 2013; BLITS *et al.*, 1991).

Figura 2 – Espécie *Sporobolus virginicus* às margens do estuário do Rio Pacoti, município de Eusébio, Ceará (A), e detalhe da muda (B).



Fonte: imagens feitas pela autora.

Na costa sudeste dos Estados Unidos apresenta-se na forma de dois ecótipos geneticamente distintos que nascidos da fruta e cultivados sob condições idênticas, embora mantenham a morfologia distinta, quando cruzam, são férteis (BLITS *et al.*, 1991). Um deles cresce de 10 a 40 cm de altura em pântanos salinos e ao longo das bordas dos manguezais e, o outro chega a um metro de altura surgindo em praias arenosas e dunas costeiras com folhas mais largas e caules mais grossos que a forma encontrada no pântano (BLITS *et al.*, 1991). O crescimento dessa espécie é estimulado pela presença de sal (LONARD *et al.*, 2013).

Essa espécie é descrita para controle de erosão em praias e para estabilizar substratos costeiros arenosos; fornece forragem de boa qualidade para gado, cabras, ovelhas e camelos; disponibiliza cobertura e comida para grande diversidade de seres selvagens; é fonte de nutrição para espécies de camarão e caranguejos; no Havá é usada na medicina popular para tratar aftas, doença da infância e enfraquecimento físico (LONARD *et al.*, 2013).

#### 1.1.1.3 Espécie: *Sarcocornia ambigua* (Michx.) M.A. Alonso & M.B. Crespo

A espécie denominada neste estudo de *Sarcocornia ambigua* (Michx.) M.A. Alonso & M.B. Crespo (Figura 3), família Chenopodiaceae, tem uma classificação controversa na literatura botânica brasileira. Na Flora Brasiliensis (SENNA, 2015) está dentro da família Salsolaceae como *Salicornia gaudichaudiana* Moq. Em Kinupp e Lorenzi (2014) está classificada como *Sarcocornia fruticosa* (L.) A. J. Scott, tendo com sinônimas os nomes *Salicornia gaudichaudiana* Moq., *Salicornia peruviana* Kunth e *Salicornia fruticosa* L, dentro da família Amaranthaceae.

Figura 3 – Espécie *Sarcocornia ambigua* cultivada no Centro de Estudos em Aquicultura Costeira, no município de Eusébio, Ceará (A), detalhe das partes aéreas (B).



Fonte: imagens feitas pela autora.

A proposta mais atual para o nome científico, *Sarcocornia ambigua*, é de Alonso & Crespo (2008), a mesma que tem sido usada por pesquisadores que tem investigado essa planta em sistemas de aquaponia com água residuária do camarão *Litopenaeus vannamei* (BERTIN et al., 2014; PINHEIRO, 2015; PINHEIRO et al., 2017; SILVA, 2015).

Planta herbácea perene, ereta, suculenta, caules longos até 50 cm de altura, lenhosos somente na base, às vezes em nós basais com raízes finas (ALONSO, CRESPO, 2008). O gênero encontra-se distribuído na América do Sul, da costa da Venezuela até a foz do rio Plata, na Argentina (D'OCA et al., 2012). A espécie ocorre em regiões salinas da costa atlântica das Américas, Cuba e ilhas vizinhas; na América do Sul da Venezuela (provavelmente Colômbia) até o Uruguai; ocorrências registradas na costa do Brasil e na Carolina e na Flórida da América do Norte (ALONSO, CRESPO, 2008).

São plantas que apresentam grande potencial biotecnológico, sendo uma cultura que pode ser irrigada diretamente com água salgada (D'OCA et al., 2012). Estudos indicaram potencial desta espécie como fonte valiosa de antioxidantes naturais e nutrientes para uso nas indústrias alimentar e farmacêutica (BERTIN et al., 2014). Pode ser utilizada na culinária como substituta do sal de cozinha e as folhas consumidas cruas (KINUPP, LORENZI, 2014).

### **1.1.2 Cultivo de halófitas**

Pesquisas realizadas em diferentes lugares do mundo para espécies halófitas constataram produção de biomassa em áreas naturais, em wetlands e em sistemas de aquaponia, sendo apresentados nessa seção resultados considerados mais relevantes para esse estudo.

#### **1.1.2.1 Sistemas de cultivo**

Zonas húmidas ou alagados naturais, conhecidos como *wetlands*, são encontrados em todos continentes, exceto na Antártida, e ocupam 8,3 e 10,1 milhões km<sup>2</sup> (VYMAZAL, 2010). Fornecem importantes serviços ecológicos para a sociedade, sendo um deles o tratamento de águas residuárias (VYMAZAL, 2008).

O tratamento de efluente, potencialmente, pode ser feito em tanques ou bacias de sedimentação, também conhecidos como *wetlands* (BIUDES, 2007). *Wetlands* são sistemas projetados e construídos aproveitando processos naturais para a remoção de nutrientes de águas residuárias (KIVAISI, 2001), principalmente, do nitrogênio e fósforo por sedimentação,



precipitação química e adsorção (BRASKERUD, 2002).

Esses alagados construídos são concebidos para funcionarem como sistemas de tratamento de baixo custo, pois utilizam processos biogeoquímicos naturais pela associação entre plantas, solo e assembléias microbianas (VYMAZAL, 2008). As plantas têm a função de manter a condutividade hidráulica do substrato, aumentam as assembléias microbianas em sua zona radicular e participam da absorção de nutrientes (WEBB *et al.*, 2012).

Os tipos de tratamento com *wetlands* construídas, em geral, dividem-se em três categorias: fluxo de água livre, fluxo subsuperficial e a combinação dos dois anteriores. Para fluxo subsuperficial tem outra subdivisão de acordo com a direção do fluxo, vertical ou horizontal, podendo ser utilizados substratos de areia, cascalho e/ou rocha britada (ZHANG, *et al.*, 2014).

Os *wetlands* construídos têm sido utilizados, nas últimas décadas, para o tratamento de efluentes industriais, efluentes domésticos, resíduos ácidos de mineração e efluentes de atividades agrícolas (BIUDES, 2007). A utilização dos mesmos para o tratamento de efluente da aquicultura é considerado recente e em estágio experimental, mas tem apresentado resultados promissores (BIUDES, 2007).

No caso da criação de camarão, o efluente rico em fezes e restos de ração oriundo dessa atividade, também requer tratamento para ser lançado ao ambiente (FERNANDES, 2007). Mas a ocorrência em fazendas de camarão do Ceará, no final de 2016, do vírus “White Spot Syndrome Virus” ou “WSSV”, responsável pela doença conhecida com “mancha branca”, de maior letalidade e contágio em camarões marinhos, algumas medidas necessárias foram adotadas favorecendo sistemas de recirculação de água (CARVALHO, 2017). A primeira medida foi a produção de camarão com ciclos de criação em intervalos menores, em torno de 70 dias (CARVALHO, 2017). E a segunda, uso de sistema heterotrófico ou tecnologia de bioflocos (BFT) com alta densidade (+ de 100 camarões.m<sup>-2</sup>), sendo considerado promissor para aumentar a produtividade mesmo em áreas acometidas por enfermidades virais pela garantia maior de controle de biossegurança (CARVALHO, 2017).

A tecnologia de bioflocos é considerada robusta, sendo necessário o controle dos sólidos suspensos, aeração e a manutenção adequada da relação Carbono:Nitrogênio (C:N) (CRAB *et al.*, 2012). É uma técnica que equilibra a quantidade de carbono e nitrogênio no sistema garantindo a qualidade da água pela conversão dos resíduos orgânicos e amônia em biomassa microbiana, sendo necessário controle para adição de carbono quando necessário (CRAB *et al.*, 2012).

O cultivo de camarão em sistema de tecnologia de bioflocos tem trazido vantagens aos produtores de camarão em comparação a práticas convencionais (KRUMMENAUER *et al.*, 2014). Dentre os benefícios estão altos rendimentos do camarão, reuso da água em vários ciclos de produção e, conseqüentemente, impactos ambientais reduzidos (KRUMMENAUER *et al.*, 2014). Em pesquisas com o camarão gigante (*Macrobrachium rosenbergii*), o camarão branco do pacífico (*Litopenaeus vannamei*) e a tilápia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*) constatou-se que eles foram capazes de absorver bioflocos e aumentar o índice de produtividade com essa fonte protéica adicional (CRAB *et al.*, 2012).

Pesquisadores estão experimentando combinações da tecnologia de bioflocos em sistema de policultura, onde a cultura de peixe ou camarão é integrada com vegetais, microalgas, mariscos e/ou algas para a melhoria da qualidade da água (CRAB *et al.*, 2012). O cultivo integrado com halófitas tem potencial para que essa cultura vegetal seja produtiva e rentável (WEBB *et al.*, 2012). Halófitas são plantas adaptadas a ambientes salinos e têm sido estudadas como possível solução criativa para a produção agrícola sustentável (VENTURA, SAGI, 2013). Além disso, podem ser aproveitadas como biomassa para nutrição de animais de criação devido ao rápido crescimento e nutrientes incorporados a sua biomassa (PINHEIRO, 2015).

A aquaponia trata-se de sistema de produção de organismos aquáticos integrado ao cultivo de plantas, em que as duas espécies são beneficiadas (CARVALHO *et al.*, 2017). A aquaponia é um sistema produtivo com otimização dos recursos hídricos (GODDEK *et al.*, 2018), enquanto na hidroponia as plantas crescem em canais de cultivo com solução nutritiva que circula em intervalos de tempo controlados (CARVALHO *et al.*, 2017). Mas autores também definem aquaponia como a integração da produção de plantas em cultivos hidropônicos com sistemas de recirculação de água da aquicultura (LENNARD, LEONARD, 2006) ou sendo a combinação de hidroponia com a recirculação da água de aquicultura (MAUCIERI *et al.*, 2017).

Considera-se que a hidroponia controla o acúmulo de resíduos de nutrientes da piscicultura, podendo ser reduzido o consumo geral de água com a produção de culturas adicionais e comercializáveis (LENNARD, LEONARD, 2006). No componente hidropônico o fornecimento de nutrientes pode ser classificado em sistemas sem substrato, no qual estão inclusos a técnica de película de nutrientes (NFT) ou em tipos diferentes de sistemas flutuantes, como jangada ou balsa (MAUCIERI *et al.*, 2017). Ou sistemas com uma base de substrato para a ancoragem das raízes e fixação de microrganismos, que pode ser orgânica,

inorgânica ou sintética (MAUCIERI *et al.*, 2017).

A técnica do NFT, embora seja mais prática e econômica, é considerada menos eficiente por não ter um substrato com superfície para o crescimento e filtração de bactérias (MAUCIERI *et al.*, 2017). Sistemas flutuantes também são considerados mais eficientes do que NFT devido as raízes ficarem totalmente em contato com a água, proporcionando-lhes mais área de superfície para assimilação do nitrato (MAUCIERI *et al.*, 2017).

#### 1.1.2.2 Dados de produção em diferentes condições de cultivo

Amostras da espécie *Batis maritima* foram cultivadas em experimento para verificar a resposta em concentrações de NaCl com 0 mM (controle), 100 mM, 200 mM, 300 mM, 400 mM, 600 mM, 800 mM, e 1000 mM, por 60 dias em vasos de plástico de 2 litros e substrato de vermiculita (DEBEZ *et al.*, 2010). Os resultados apresentaram sobrevivência de 100% para concentração de NaCl de 1000 mM, embora o ganho de biomassa tenha sido menor do que para as outras concentrações, e; apresentou aumento significativo para peso de biomassa seca da parte aérea em concentrações ente 100-300 mM de NaCl em comparação com um ótimo em 200 mM, sendo mais de 122% do valor encontrado para o controle (DEBEZ *et al.*, 2010).

Em estudo com a mesma espécie, *Batis maritima*, foram testados três tipos de substratos (húmus, vermiculita e areia lavada) irrigados com concentrações de NaCl de 0 mM (controle), 50 mM, 100 mM, 150 mM e 200 mM, durante 60 dias, sendo feitas medições de crescimento em altura e peso da biomassa úmida ao final (GUIMARÃES *et al.*, 2014). Os resultados encontrados foram maiores para altura em Taxa de Crescimento Relativo (TCR = 0,041 cm.dia<sup>-1</sup>) em concentração de 50 mM e substrato de húmus; enquanto para os substratos com vermiculita e areia os maiores valores encontrados foram, respectivamente, TCR = 0,042 cm.dia<sup>-1</sup> e TCR = 0,037 cm.dia<sup>-1</sup>, em concentração de 200 mM (GUIMARÃES *et al.*, 2014).

A *Batis maritima*, entre outras plantas consideradas forrageiras, da Costa de Sonora no México, cultivada em areia da praia e irrigada com água do mar hipersalina de criação de camarão com 40 ppt de sólidos totais dissolvidos, 20 ppm de nitrogênio-nitrato, 0,03 ppm de nitrogênio amoniacal e 0,5 ppm de fósforo, obteve produtividade de 1738 g.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup> de peso seco (O'LEARY *et al.*, 1985).

Em outro estudo com halófitas, em sistema de aquaponia com peixe usando filtro e biorreator para fixação de biofilme, a espécie *Batis maritima* foi cultivada em vasos de fibra de coco e suporte para flutuação em bancada hidropônica apresentando os seguintes

resultados: taxa de sobrevivência de 30%, desempenho máximo de  $77,4 \pm 14 \text{ g.m}^{-2}$  de peso de massa seca e, a massa seca média por planta foi de  $0,7 \pm 0,64 \text{ g}$ , no 79º dia (BOXMAN *et al.*, 2018). Nesse estudo, os pesquisadores consideraram que o desempenho para essa espécie foi bem inferior ao da espécie *Sesuvium portulacastrum* (BOXMAN *et al.*, 2018).

Foram mensuradas a altura e massa seca da parte aérea de amostras de *Batis maritima*, cultivadas em vasos de polietileno com capacidade para 9 litros, preenchidos com substrato de areia, argila e adubo polifétil na proporção de 1:1:1, irrigadas com solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) modificadas com chumbo (Pb) em diferentes concentrações, de 0 (controle),  $51,8 \text{ mg.l}^{-1}$ ,  $103,6 \text{ mg.l}^{-1}$ ,  $207,2 \text{ mg.l}^{-1}$ ,  $414,4 \text{ mg.l}^{-1}$ , sem (controle) e com acréscimo de EDTA em concentração de  $0,1 \text{ mol.l}^{-1}$  (BATISTA, 2015). Os resultados em 60 dias apresentaram os menores e maiores valores, de massa e altura, a seguir:  $60,3 \pm 17,5 \text{ g}$  (com EDTA e  $414,4 \text{ mg.l}^{-1}$  de Pb),  $108,9 \pm 14,1 \text{ g}$  (com EDTA e 0 Pb),  $88,1 \pm 23,4 \text{ g}$  (sem EDTA e  $207,2 \text{ mg.l}^{-1}$  de Pb),  $110,1 \pm 9,4 \text{ g}$  (sem EDTA e 0 Pb),  $127,9 \pm 64,9 \text{ cm}$  (com EDTA e  $414,4 \text{ mg.l}^{-1}$  de Pb),  $156,5 \pm 13,2 \text{ cm}$  (com EDTA e 0 Pb),  $155,8 \pm 10,2 \text{ cm}$  (sem EDTA e  $51,8 \text{ mg.l}^{-1}$  de Pb),  $168,8 \pm 23,7 \text{ cm}$  (sem EDTA e 0 Pb) (BATISTA, 2015).

Em experimento em aquaponia integrando cultivo da espécie *Sarcocornia ambigua* com o camarão *Litopenaeus vannamei* em bioflocos, durante 73 dias, utilizaram-se tanques de 800 l, sedimentador cilíndrico cônico de 40 l e bancada hidropônica confeccionada com cano PVC de diâmetro de 50 cm com  $0,4 \text{ m}^2$  de área para cultivo de 40 plantas (PINHEIRO *et al.*, 2015; PINHEIRO *et al.*, 2017). O peso da massa média das plantas, com quatro repetições, foi de  $85,1 \pm 59,1 \text{ g}$  com ganho de biomassa de  $3,1 \pm 0,2 \text{ kg}$  e de  $8,2 \pm 0,3 \text{ kg.m}^{-2}$  (PINHEIRO, 2015).

Em outro experimento utilizando as mesmas instalações do experimento citado no parágrafo anterior e com cultivo das plantas com a técnica de película de nutrientes (NFT) e duração de 83 dias foi testado o desempenho produtivo da *Salicornia ambigua* submetidas a duas ofertas distintas de quantidade ração, 50 g e 100 g, por metro quadra de planta (SOARES-NETO, 2017). A biomassa final foi de  $0,79 \pm 0,15$  (50 g de ração) e de  $0,49 \pm 0,05 \text{ kg}$  (100 g de ração); a produtividade da parte herbácea foi de  $0,65 \pm 0,14 \text{ kg.m}^{-2}$  (50 g de ração) e  $0,76 \pm 0,12 \text{ kg.m}^{-2}$  (100 g de ração); taxa de sobrevivência (%) de  $70,41 \pm 6,2$  para 50 g de ração e  $67,5 \pm 6,6$  para 100 g de ração (SOARES-NETO, 2017).

Ventura (*et al.*, 2011) verificou desenvolvimento da espécies *Salicornia persica* e da *Sarcocornia fruticosa* irrigadas com soluções em diferentes concentrações de água do mar (0, 25%, 50%, 75% e 100%), durante quatro meses. O peso da massa das partes aéreas frescas encontradas para *Sarcocornia fruticosa* foram os seguintes valores: 0,15 g (0%), 0,83 g (25%),

0,74 g (50%), 0,76 g (75%) e 0,70 g (100%) (VENTURA, *et al.*, 2011). As diferentes concentrações da solução de água do mar não provocaram efeitos significativamente diferentes sobre o peso da massa radicular ou comprimento, mas a ausência de solução salina resultou plantas significativamente mais curtas e com menor acúmulo de biomassa (VENTURA, *et al.*, 2011).

Em outro experimento, a *Sarcocornia ambigua* foi cultivada no solo e irrigada com efluente de cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei*, em quatro diferentes espaçamentos e densidades (16,7 plantas.m<sup>2</sup>, 8,3 plantas.m<sup>2</sup>, 5,6 plantas.m<sup>2</sup> e 4,2 plantas.m<sup>2</sup>), durante 150 dias (IZEPPI, 2011). Os resultados para crescimento não apresentaram diferenças significativas em relação ao espaçamento e densidade das plantas, sendo que as médias variaram de 18,8±0,8 cm (8,3 plantas.m<sup>2</sup>) a 20,9±0,9 cm (5,6 plantas.m<sup>2</sup>) (IZEPPI, 2011). Em relação a biomassa fresca houve diferenças significativas entre as diferentes densidades/espacamentos com valores menores quanto mais próximas as plantas encontravam-se com médias de 81,6±7,2 g e 94,9±12,5 g e, maiores para as densidades mais espaçadas com médias de 168,5±24,5 g e 196,9±30,5 g (IZEPPI, 2011).

O efeito sobre o crescimento da espécie *Sporobolus virginicus* foi testado em experimentos com o cultivo hidropônico, sendo irrigadas amostras da plantas com diferentes concentrações de NaCl (BELL, O'LEARY, 2003). Um crescimento ótimo, entre 4 a 8 semanas, com diferenças significativas foi encontrado para concentrações entre 100–150 mmol/l de NaCl, sendo menor o crescimento em concentrações maiores (BELL, O'LEARY, 2003). A Taxa de Crescimento Relativo da biomassa total foi de 0,05 g.g<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> a 100 mmol/l de NaCl e significativamente maior que Taxa de Crescimento Relativo para plantas cultivadas a 5 mmol/g (0,04 g.g<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>) e 300 mmol/l (0,04 g.g<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>) (BELL, O'LEARY, 2003). O acúmulo de biomassa em plantas cultivadas a 450 mmol/l de NaCl foi maior do que em plantas cultivadas a 5 mmol/l (BELL, O'LEARY, 2003).

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Investigar a capacidade de produção de halófitas cultivadas com águas residuárias da criação do camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, e de redução de efluente.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- 1) Elaborar e montar protótipos para realização de experimentos de bancada em estruturas para cultivo em substrato de areia e sistema de aquaponia;
- 2) Comparar o crescimento de halófitas cultivadas com água residuária de criação de camarão e com a água filtrada do Rio Pacoti em experimentos de bancada;
- 3) Verificar a quantidade de compostos nitrogenados (amônia, nitrato e nitrito) e ortofosfato de água residuária de criação de camarão, em experimentos de bancada, com cultivo de plantas (tratamento) e sem (controle);
- 4) Mensurar valores de pH, salinidade, temperatura e sólidos da água residuária de criação de camarão em experimentos de bancada com cultivo de plantas (tratamento) e sem (controle);
- 5) Avaliar o crescimento, semanal, em altura, e a biomassa inicial e final das espécies vegetais cultivadas, em cada experimento;
- 6) Comparar o desempenho zootécnico dos camarões criados com e sem a presença das plantas;
- 7) Determinar teor de minerais das halófitas *Batis maritima* cultivadas com água residuária de criação de camarão e com água filtrada do estuário do Rio Pacoti.

### 1.3 Hipóteses

- As espécies vegetais *Batis maritima* e *Sporobolus virginicus* cultivadas com águas residuárias da criação de camarão da espécie *Litopenaeus vannamei* apresentam melhor desenvolvimento do que quando cultivadas com água do Rio Pacoti, assim como, o teor de minerais é diferenciado.
- Águas residuárias da criação de camarão da espécie *Litopenaeus vannamei* apresentam qualidade melhor em cultivo integrado com as halófitas *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* e *Sporobolus virginicus* em substrato de areia e sistema de aquaponia e o desempenho zootécnico dos camarões não é prejudicado.

#### 1.4 Formatação da Tese

A tese compreende introdução geral, quatro capítulos e conclusão. Na introdução geral ressalta-se o tema em estudo contextualizando a necessidade de desenvolver tecnologias para a integração da criação do camarão *Litopenaeus vannamei* com as plantas halófitas *Batis maritima*, *Sporobolus virginicus* e *Sarcocornia ambigua*. Nessa seção a revisão bibliográfica aborda formas de cultivo de plantas com águas residuárias da aqüicultura, a tecnologia de bioflocos em criação de camarão e aspectos botânicos, de distribuição e usos das plantas halófitas em estudo. Os objetivos e as hipóteses também são delimitados nessa seção.

O primeiro capítulo é referente a estruturas e sistemas elaborados e testados para a realização dos experimentos de bancada. É um capítulo que detalha desde a concepção até a escolha dos protótipos construídos para a realização dos experimentos.

Em seguida, o segundo capítulo trata dos resultados de dois experimentos de bancada com *wetlands*/sistemas de fibra de vidro que resultaram em artigo científico, publicado na Revista Biotemas, de classificação B4 pela Qualis Capes. Num dos experimentos foram cultivadas as halófitas *Batis maritima* e *Sporobolus virginicus* com água do Rio Pacoti e com efluente da criação de camarão sendo comparados o desenvolvimento das plantas e a qualidade da água em relação a ortofosfato e sólidos. No outro experimento o cultivo das espécies *Batis maritima*, *Sporobolus virginicus* e *Sarcocornia ambigua* foi integrado à criação do camarão *Litopenaeus vannamei*.

O estudo proveniente do experimento de bancada em aquaponia com cultivo das halófitas e criação do camarão *Litopenaeus vannamei*, segue no capítulo três. As plantas cultivadas foram *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* e *Sporobolus virginicus*. O experimento contou com quatro réplicas para cada tratamento, sendo um tratamento experimental com a presença das plantas e o outro sem as plantas, denominado controle.

No quarto capítulo foram abordados aspectos do desenvolvimento e caracterização do teor mineral das partes aéreas da halófita *Batis maritima*, referente a um dos experimentos de bancada detalhado no capítulo dois, com sistemas de fibra de vidro.

E ao final foram apresentados os dados conclusivos e considerações finais em relação ao desenvolvimento do assunto com recomendações e sugestões para pesquisas futuras. Cada capítulo está no formato de artigo, adequado às normas das revistas às quais se pretende submeter o texto à publicação.

## REFERÊNCIAS

- ALONSO, M. Ángeles; CRESPO, Manuel B. Taxonomic and nomenclatural notes on South American taxa of *Sarcocornia* (Chenopodiaceae). **Annales Botanici Fenicci**, v. 45, p. 241-254, 2008.
- BATISTA, Danielle Cristiny de Azevedo. **Comportamento fisiológico e bioquímico em plantas de *Batis maritima* L. (Bataceae) sob efeito de chumbo e seu potencial fitoextrator**. 2015. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2015.
- BELL, Hester L.; O'LEARY, James W. Effects of salinity on growth and cation accumulation of *Sporobolus virginicus* (Poaceae). **American Journal of Botany**, v. 90, n. 10, p.1416–1424, 2003.
- BERTIN, Renata Labronici; GONZAGA, Luciano Valdemiro; BORGES, Graciele Da Silva Campelo; AZEVEDO, Mônia Stremel; MALTEZ, Heloisa França; HELLER, Melina; MICKE, Gustavo Amadeu; TAVARES, Lorena Benathar Ballod; FETT, Roseane. Nutrient composition and, identification/quantification of major phenolic compounds in *Sarcocornia ambigua* (Amaranthaceae) using HPLC–ESI-MS/MS. **Food Research International**, v. 55, p. 404–411, 2014.
- BIUDES, J. F. V. **Tratamento de efluentes de carcinicultura**. 2007. 121 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) - Universidade Paulista, Jaboticabal. 2007.
- BLITS, K. C.; GALLAGHER, J. L. Morphological and physiological responses to increased salinity in marsh and dune ecotypes of *Sporobolus virginicus* (L.) Kunth. **Oecologia**, v. 87, n. 3, p. 330–335, 1991.
- BOXMAN, Suzanne; NYSTROM, Michael; ERGAS, Sarina; MAIN, Kevan; TROTZ, Maya. Evaluation of water treatment capacity, nutrient cycling, and biomass production in a marine aquaponic system. **Ecological Engineering**, v. 120, p. 299-310, 2018.
- BRASKERUD, B. C. Factores affecting nitrogenretention in small constricted wetlands treating agriculturalnon-point souce pollution. **Ecological Engineering**, Columbus, v. 18, p. 351-370, 2002.
- BUHMANN, Anne; PAPENBLOCK, Jutta. Biofiltering of aquaculture effluents by halophytic plants: Basics principles, current uses and future perspectives. **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, p. 122-133, 2013.
- CARVALHO, R. A. A. **Diagnóstico e caracterização molecular do vírus da mancha branca (WSSV) em camarões *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) cultivados no Vale do Rio Açu, Rio Grande do Norte, Brasil**. 2017. 84 f. Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.
- CASTILHO-BARROS, L.; ALMEIDA, F.; HENRIQUES, M.; SEIFFERT, W. Economic evaluation of the commercial production between Brazilian samphire and whiteleg shrimp in an aquaponics system. **Aquaculture International**, v. 26 (5), p. 1187 – 1206, 2018.



COSTA, César S. B., Oriel Herrera Bonilla, Tereza Cristina V. Gesteira, José A. Pereira, Francisco Yuri M. de Sousa, Marília S. Leite, Carlos C. Carvalho, Francisco J. Andrade/Walter Augusto-Ruiz. Produção de biomassa da halófita *Salicornia gaudichaudiana* irrigada com efluente de viveiro do camarão *Litopenaeus vannamei* no litoral do Ceará. **I Simpósio sobre Biomas Costeiros e Marinheiros**, Salvador, 2006. **sobre Biomas Costeiros e Marinheiros**, Salvador, 2006.

CRAB, Roselien; DEFOIRD TAB, Tom; BOSSIERB, Peter; VERSTRAETEA, Willy. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. **Aquaculture**, v. 356–357, n. 1, p. 351-356, 2012.

DEBEZ, Ahmed.; SAADA OUI, Dhouha; SLAMA, Inês; HUCHZERMAYER, Bernhard; ABDELLY, Chedly. Responses of *Batis maritima* plants challenged with up to two-fold seawater NaCl salinity. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 173, p. 291-299, 2010.

D'OCA, Marcelo G. M.; MORÓN-VILLARREYES, Joaquín A.; LEMÕES, Juliana S.; COSTA, César S. B. Fatty acids composition in seeds of the South American glasswort *Sarcocornia ambigua*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, n. 3, v. 84, p. 865-870, 2012.

DUARTE, Carlos M.; HOLMER, Marianne; OLSEN, Yngvar; SOTO, Doris; MARBÀ, Núria; GUIU, Joana; BLACK, Kenny; KARAKASSIS, Ioannis. Will the oceans help feed humanity? **Bioscience**, v. 59, p. 967–976, 2009.

FAO. **The future of food and agriculture – Trends and challenges**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017. Disponível em: < <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf> >. Acesso em: 21 out. 2017.

FERNANDES, Albaniza Rodrigues. **A produção midiática da maré do camarão no Ceará**. 2007. 178 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências, Fortaleza, CE, 2007.

FERREIRA, N. C.; BONETTI, C.; SEIFFERT, W. Q. Hydrological and water quality indices as management tools in marine shrimp culture. **Aquaculture**, n. 3, v. 318, p. 425-433, 2011.

GLENN, Edward P.; HODGES, Carl N.; LIETH, Helmut; PIELKE, Roger; PITELKA, Louis. Climate: Growing Halophytes to Remove Carbon from the Atmosphere. **Environment**, n. 3, v. 34, p. 40-43, 1992.

GODDEK, Simon; DELAIDE, Boris P.L.; JOYCE, Alyssa; WUERTZ, Sven; JIJAKLI, M. Haïssam; GROSS, Ami; EDING, Ep H.; BLÄSER, Ingo; REUTER, Michael; KEIZER, L.C. Paul; MORGENSTERN, Rolf; KÖRNER, Oliver; Verreth, Johan; KEESMAN, Karel J. Nutrient mineralization and organic matter reduction performance of RAS-based sludge in sequential UASB-EGSB reactors. **Aquacultural Engineering**, v. 83, p. 10-19, 2018.

GODFRAY, H. Charles J.; BEDDINGTON, John R.; CRUTE, Ian R., HADDAD, Lawrence; LAWRENCE, David; MUIR, James F.; PRETTY, Jules, ROBINSON, Sherman; THOMAS, Sandy M., TOULMIN, Camilla. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v. 327, p. 812–818, 2010.

GUIMARÃES, L.L.; MONTEIRO, C.C.; MOURA, S.G.B.; LIMA, V.C.S.; BONILLA, O.H.; GOMES-FILHO, E. Tolerância de *Batis maritima* L. Submetida a Tratamentos Salinos. **4526-4531. 10.12702/ii.inovagri.2014-a609**. 2014.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water-culture method for growing plants without soil. **California Agricultural Experimental Station**, Berkeley, n. 347, 1950. Disponível em: < <https://archive.org/details/watercultureme3450hoag>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

IZEPP, E. M. **Efeitos da densidade de plantio na sobrevivência, desenvolvimento e produção de biomassa da halófito *Sarcocornia ambigua* (Michx) Alonso e Crespo**. 2011. 66 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Pós-Graduação em Aquicultura, Universidade do Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2011.

KINUPP, Valdely F. & LORENZI, Harry. **Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2014.

KIVAISI, A. K. The potencial for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. **Ecological Engineering**, Columbus, v. 16, p. 545-560, 2001.

KRUMMENAUER, Dariano; SAMOCHA, Tzachi; POERSCH, Luis; LARA, Gabriele; WASIELESKY, Jr. Wilson. The Reuse of Water on the Culture of Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in BFT System. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 45, n. 1, p. 3-14, 2014.

KSOURI, Riadh; KSOURI, Wided Megdiche; JALLALI, Inès; DEBEZ, Ahmed; MAGNÉ, Christian; HIROKO, I.; ABDELLY, Chedly. Medicinal halophytes: potent source of health promoting biomolecules with medical, nutraceutical and food applications. **Critical Review in Biotechnology**, n. 4, v. 32, p. 289-326, 2012.

LENNARD, Wilson A.; LEONARD, Brian V. A Comparison of Three Different Hydroponic Sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic Test System. **Aquaculture International**, v. 14, p. 539 – 550, 2006.

LONARD, Robert I.; JUDD, Frank W.; STALTER, Richard. The Biological Flora of Coastal Dunes and Wetlands: *Batis maritima* C. Linnaeus. **Journal of Coastal Research**, n. 3, v. 7, p. 441-449, 2011.

LONARD, Robert I.; JUDD, Frank W.; STALTER, Richard. The Biological Flora of Coastal Dunes and Wetlands: *Sporobolus virginicus* (C. Linnaeus) K. Kunth. **Journal of Coastal Research**, n. 3, v. 29, p. 706-716, 2013.

LUNA, G. M.; CORINALDESI, C.; DELL'ANNO, C.; PUSCEDDU, A.; DANOVARO, R. Impact of aquaculture on benthic virus-prokaryote interactions in the Mediterranean Sea. **Water Research**, n. 3, v. 47, p. 1156 – 1168, 2013.

MARCONE, Massimo F. *Batis maritima* (Saltwort/Beachwort): a nutritious, halophytic, seed bearings, perennial shrub for cultivation and recovery of otherwise unproductive agricultural land affected by salinity. **Food Research International**, n. 2, v. 36, p. 123-130, 2003.

MARISCAL-LAGARDA, M. Martin; PÁEZ-OSUNA, Federico; ESQUER-MÉNDEZ, José Luis; GUERRERO-MONROY, Ildelfonso; DEL VIVAR, Alonso Romo; FÉLIX-GASTELUM, Rubén. Integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersion esculentum* Mill) with low salinity groundwater: Management and production. **Aquaculture**, v. 366-367, n. 5, p. 76-84, 2012.

MAUCIERI, C. Nicoletto, C.; JUNGE, R.; SCHMAUTZ, P. S.; BORIN, M. Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. **Italian Journal of Agronomy**, v. 13 (1), 2017.

O'LEARY, J. W.; GLENN, E. P.; WATSON, M.C. Agricultural production of halophytes irrigated with seawater. **Plant and Soil**, v. 89, n. 1-3, p. 311-321, 1985.

PINHEIRO, Isabela Claudiana. **Produção da halófito *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* em sistema de aquaponia com bioflocos**. 2015. 48 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis, SC, 2015.

PINHEIRO, Isabela.; ARANTES, Rafael; SANTO, Carlos.; VIEIRA, Felipe; LAPA, Katt; GONZAGA, Luciano; FETT, Roseane; BARCELOS-OLIVEIRA, Jorge; SEIFFERT, Walter. Production of the halophyte *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in an aquaponic system with biofloc technology. **Ecological Engineering**, v. 100, p. 261-267, 2017.

RAVEN, Peter H.; EVERT, Ray F.; EICHHORN, Susan E. **Biologia Vegetal**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

RIBEIRO, Luisa Ferreira; SOUZA, Manuel Macedo; BARROS, Francisco; HATJE, Vanessa. Desafios da carcinicultura: aspectos legais, impactos ambientais e alternativas mitigadoras. **Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management**, n. 3, v. 14, p. 365-383, 2014.

RIVERA, Antonella; UNIBAZO, Javier; LEÓN, Paula; VÁSQUEZ-LAVÍN, Felipe; PONCE, Roberto; MANSUR, Lidia; GELCICH, Stefan. Stakeholder perceptions of enhancement opportunities in the Chilean small and medium scale mussel aquaculture industry. **Aquaculture**, v. 479, p. 423-432, 2017.

SENNA, L. Salicornia in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB139868>>. BFG. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. **Rodriguésia**, v.66, n.4, p.1085-1113. 2015. (DOI: 10.1590/2175-7860201566411)

SHAER, Hassan. M. Halophytes and salt-tolerant plants as potential forage for ruminants in the Near East region. **Small Ruminant Research**, v. 91, n. 1, p. 3-12, 2010.

SILVA, Alysson Q. ***Sarcocornia ambigua* (Michx.) na fitorremediação de fazendas de carcinicultura**. 2015. 85 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais do Centro de Ciências e Tecnologias) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2015.

SOARES NETO, Joaquim da Rocha. **Cultivo de *Sarcoconia ambigua* em aquaponia com *Litopenaeus vannamei* em bioflocos com diferentes áreas de bancada hidropônica**. 2017.

47 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis, SC, 2017.

SOTIROUDIS, Vassilios T.; SOTIROUDIS, Theodore G.; KOLISIS, Fragiskos N. The potential of biodiesel production from fatty acid methyl esters of some European/Mediterranean and cosmopolitan Halophyte seed oils. **Journal of ASTM International**, v. 7, n. 3, p. 1-9, 2010.

SOUZA, Vinícios C.; LORENZI, Harri. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas do Brasil, baseado em APG II**. 2ª edição. Nova Odessa, SP: Instituto Plantaarum, 2008.

SQUIRES, V R.; AYOUB, A. T. **Halophytes as a resource for livestock and for rehabilitation of degraded lands**. Dordrecht/ Boston/ London: Kluwer Academic Publishers, 1992.

VENTURA, M.; SAGI. Halophyte crop cultivation: The case for Salicornia and Sarcocornia. **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, p. 144–153, 2013.

VENTURA Y.; WUDDINEH, W.; MYRZABAYEVA, M.; ALIKULOV, Z.; GOLDBERG, I.; SHPIGEL, M.; SAMOCHA, T.; SAGI, M. Effect of seawater concentration on the productivity and nutritional value of annual Salicornia and perennial Sarcocornia halophytes as leafy vegetable crops. **Scientia Horticulturae**, v. 128, p. 189-196, 2011.

VYMAZAL, J. Constructed wetlands for wastewater treatment. **Ecological Engineering**, v. 25 (5), p. 475 e 477, 2010.

VYMAZAL, J. Constructed wetlands, surface flow. In *Encyclopedia of Ecology*, vol. 1, p., 2008.

ZHANG, D. Q.; JINADASA, K. B. S. N.; GERSBERG, R. M.; LIU, YU; NG, WUN JERN; TAN, S. K. Application of constructed wetlands for wastewater treatment in developing countries – A review of recent developments (2000-2013). **Journal of Environmental Management**, vol. 45(1), p. 61, 2014.

WEBB, J.M., QUINTÃ, R., PAPADIMITROU, S., NORMAN, L., RIGBY, M., THOMAS, D.N., LE VAY, L. Halophyte filter beds for treatment of saline wastewater from aquaculture. **Water Research**, n. 16, v. 46, p. 5102–5114, 2012.

## CAPÍTULO I – ELABORAÇÃO E TESTAGEM DE EQUIPAMENTOS PARA EXPERIMENTOS DE BANCADA EM AQUAPONIA

### Resumo

Alternativas para tratamento da água residuária de carcinicultura em fazendas de aquicultura podem ser com bacias de sedimentação, uso de bioflocos, sistemas de aquaponia integrando cultivo de plantas halófitas com a criação de camarão. Considerando a aquaponia, como sistema vantajoso por integrar a produção aquícola e agrícola, minimizar impactos ambientais e otimizar o uso da água, foram construídos e testados equipamentos para cultivo de halófitas com água residuária de criação de camarão em experimentos de bancada. Os equipamentos utilizados nos experimentos de bancada, para cultivo de halófitas, foram concebidos, de forma inédita, para esta tese. Sistemas de fibra de vidro foram testados para tratamento do efluente de criação de camarão e crescimento de três espécies de plantas halófitas, *Batis maritima*, *Sporobolus virginicus* e *Sarcocornia ambigua*. Embora tenham sido funcionais, devido ao tamanho limitado dos sistemas, as raízes das plantas não tiveram espaço suficiente para o desenvolvimento como se estivessem em contato direto com o solo. Os protótipos construídos com canos PVC, após serem testados, foram adequados em relação ao comprimento e diâmetro dos canos, fluxo de nutrientes disponível para as plantas e sistema de bombeamento do fluxo de efluente. Comparando o desenvolvimento das plantas no sistema de fibra de vidro e em estruturas de cano PVC, tanto o crescimento quanto a vivacidade na coloração das folhas das espécies *Batis maritima* e *Sarcocornia ambigua*, tiveram mais destaque nas estruturas com cano PVC. Os protótipos funcionais em cano PVC ainda precisarão ser readequados para o cultivo de plantas em espelho d'água de tanques de fazendas de camarão com adaptação de suporte para que flutuem e a instalação de bombas d'água com placa solar para funcionamento ininterrupto.

Palavras-chave: Cultivo de halófitas. Aquaponia. Recirculação de efluente.

### I.1 Introdução

A criação de camarões em cativeiro, denominada carcinicultura, é considerada uma das atividades da aquicultura que mais se destacam no cenário mundial (COSTA<sup>2</sup> *et al.*, 2006). O Brasil é um dos principais produtores de camarão das Américas, tanto pelo clima

favorável quanto pelo domínio de tecnologias de produção (TANCREDO *et al.*, 2011).

Entretanto, a atividade produz resíduos na água que podem provocar eutrofização artificial nos ambientes receptores dos efluentes. Águas residuárias de criação de camarão apresentam concentração de nitrogênio, fósforo, bactérias, clorofila “a” e sólidos em suspensão, oriundos das fezes e da ração não consumida pelos camarões; assim como, sedimentos que são assoreados para os viveiros (FERNANDES *et al.*, 2007). Considerando estes aspectos, embora seja uma atividade que gera empregos, também impulsiona conflitos relacionados à salinização dos lençóis freáticos, à destruição de manguezais, aos riscos da introdução de espécies exóticas e difusão de epidemias nas próprias espécies cultivadas (FABIANO, 2004). O lançamento de dejetos oriundos desses sistemas produtivos tem excedido a capacidade de assimilação dos ecossistemas nos quais os empreendimentos estão inseridos (FABIANO, 2004).

A determinação da qualidade dos efluentes das fazendas de carcinicultura tem sido objeto de estudo em vários países devido aos problemas socioambientais gerados. De acordo com o diagnóstico da atividade de carcinicultura no Estado do Ceará, publicado em abril de 2005 pelo IBAMA, foram vistoriados 245 empreendimentos de carcinicultura em todo o Estado. Entre esses empreendimentos estavam projetos em instalação, em operação, desativados e, também, locais com propostas de implantação de novos viveiros. Um dos problemas levantados estava relacionado ao descarte de efluentes no ambiente sem tratamento prévio. Dos empreendimentos implantados, 77% não utilizavam bacia de sedimentação nem qualquer outro tipo de tratamento de água, e 86,1% não faziam a recirculação da água (IBAMA, 2005), sendo que depois desse estudo não foi feito novo diagnóstico por parte do IBAMA.

Em 2015, foi proposto ao Fundo de Defesa dos Direitos Difusos do Estado do Ceará – FDID, do Ministério Público, um projeto de pesquisa para testar a capacidade de biorremediação de efluente de carciniculutra com plantas halófitas cultivadas em *wetlands*. *Wetlands* de fibra de vidro, em escala de bancada, foram construídos, testados e ajustados para o cultivo de plantas, que serviriam como modelo para reprodução em escala maior. O protótipo projetado para ser sete vezes maior que os sistemas de fibra testados seriam utilizados para o cultivo das plantas com efluente de camarão no Projeto aprovado. Para tanto, foram realizadas pré-testagens e experimentos de bancada, sendo um dos experimentos em 2016 e outro em 2017. Chegou-se a um protótipo funcional, do qual os dados dos experimentos resultaram em artigo publicado e reproduzido no capítulo dois desta tese.

Após o advento do vírus da “mancha branca” no Ceará, em 2016, começaram a

ser adotados ciclos de produção mais rápidos, em torno de 70 dias, e com intervalos de tempo menores (CARVALHO, 2017). Além de outras estratégias, como o reúso da água de cultivo nos viveiros para a redução de trocas de água, minimizando, assim, os riscos de contaminação externa (NUNES, FEIJÓ, 2017).

Concomitantemente, o projeto aprovado pelo FDID, precisou adequar-se a essa nova realidade, sendo abortado o uso de *wetland* que necessitava descartes constantes de efluente, durante os ciclos de criação de camarão, para a realização de experimento em escala maior. Sendo assim, foram construídas outras estruturas a base de policloreto de polivinila, plástico conhecido como vinil, para o cultivo das plantas em sistema de aquaponia com recirculação de água para pré-testagem.

Sete protótipos de vinil foram projetados e cinco construídos e testados para funcionamento em sistema fechado de recirculação de água para eleger o que possibilitasse melhor desenvolvimento das raízes das plantas com menor perda de água possível. Em 2017, foram realizados dois experimentos de bancada com material de vinil, além de testes preliminares para enraizamento de mudas. Um desses experimentos, com quatro réplicas, foi referenciado no capítulo três da presente tese o qual sevirá de modelo para futura aplicação no Projeto do FDID aprovado sob tanques de fazendas de criação de camarão.

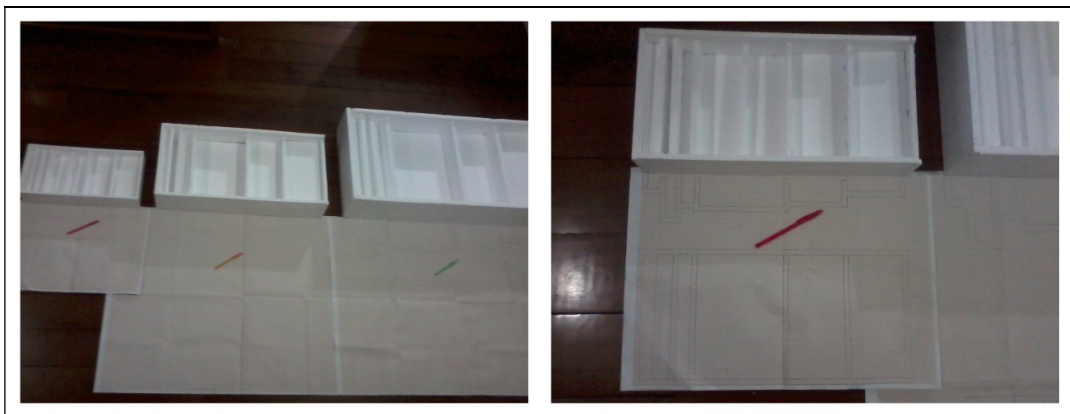
Desta forma, será apresentada, passo a passo, a confecção dos equipamentos concebidos para a realização dos experimentos de bancada. Assim como, a testagem realizada e considerações dos modelos que mais se adequaram às condições de cultivo das plantas com água residuária da criação de camarão.

## **I.2 Materiais e Métodos**

### ***I.2.1 Sistemas de fibra de vidro: elaboração, construção e montagem das estruturas***

Os sistemas de fibra de vidro foram concebidos para o cultivo de plantas halófitas em experimentos de bancada de pequena escala, visando posterior reprodução em escala maior, inspirado em trabalhos acadêmicos já desenvolvidos anteriormente (BARROS *et al.*, 2015; BIUDES, 2007; BRASKERUD, 2002; BUHMANN, PAPENBROCK, 2013; SOUSA, 2003). Para o projeto, desenhos dos sistemas foram elaborados primeiro em papel milimetrado e depois reproduzidos em maquetes com folhas de isopor (Figura 1), em três tamanhos distintos.

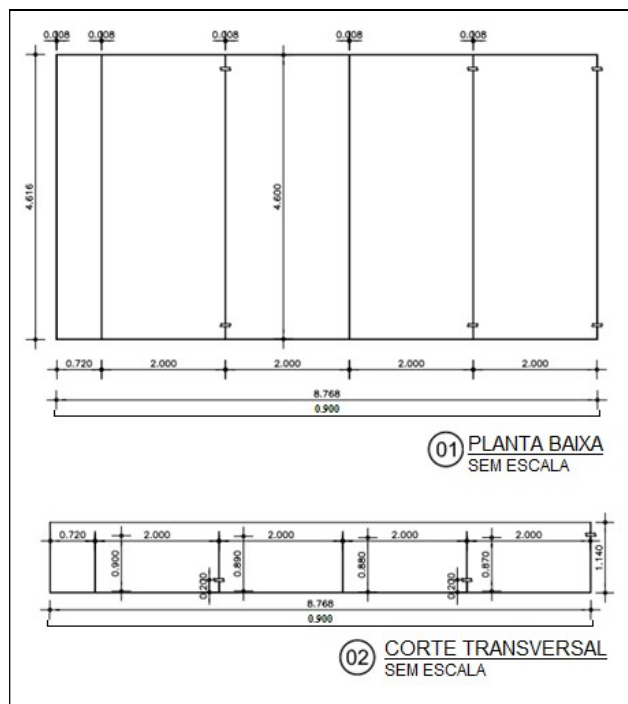
Figura 1 – Desenho e maquetes com folhas de isopor dos sistemas de fibra de vidro.



Fonte: Imagens feitas da autora.

As maquetes foram analisadas em relação a profundidade e espaços internos para o cultivo das mudas das halófitas, *Batis maritima*, *Sporobolus virginicus* e *Sarcocornia ambigua*, para seleção e confecção das plantas baixa e de corte transversal, no programa AutoCad (Figura 2), apenas para a que fosse considerada apropriada.

Figura 2 – Plantas baixa e de corte transversal do sistema, em AutoCad.



Fonte: esquema elaborado pela autora.

A partir das plantas baixa e de corte transversal e da maquete escolhida foram elencados três possíveis materiais para a confecção dos sistemas, vidro, acrílico e fibra de



vidro. Fez-se levantamento de preços, durabilidade e resistência dos materiais, além de considerar questões práticas do dia a dia para o manuseio dos respectivos protótipos. O material selecionado foi fibra de vidro, sendo apresentado o projeto para a confecção pela empresa ACP Engenharia que doou três protótipos (Figura 3). O material escolhido foi a fibra de vidro por tratar-se de material resistente e com valor mais acessível. O vidro foi descartado em função do risco de quebra, além do peso final previsto para cada tanque, o que iria dificultar o manuseio e instalação dos mesmos. O acrílico também foi descartado pela menor capacidade de vedação nas arestas.

Figura 3 – Sistemas de fibra de vidro, vista em dois ângulos.

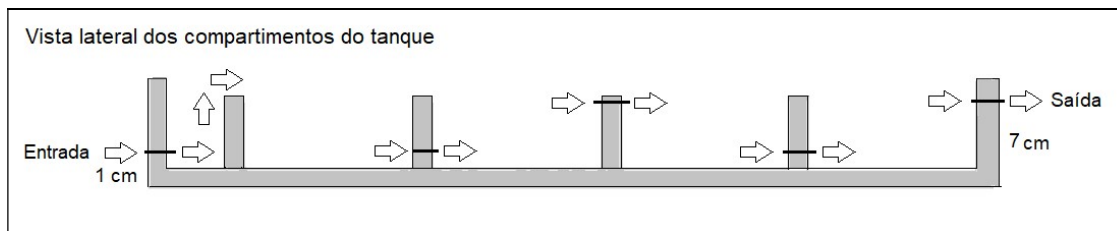


Fonte: Imagens feitas da autora.

Os sistemas para cultivo das plantas foram projetados com cinco compartimentos: o primeiro de 0,46 m de largura x 0,07 m de comprimento x 0,11 m de altura e, os seguintes com as mesmas dimensões para largura e altura por 0,20 m de comprimento. O primeiro compartimento foi dimensionado em escala menor para ser preenchido com brita nº 0 e ter a função de distribuição do efluente homogeneizado para os compartimentos seguintes, assim como, filtragem. Os quatro seguintes, de maior tamanho, ficaram para o cultivo das plantas em substrato de areia lavada.

A princípio, três orifícios de 6 mm, foram feitos entre os compartimentos dois e três, três e quatro e quatro e cinco para passagem da água de forma alternada, respectivamente, por baixo, por cima e por baixo, para haver maior retenção de nutrientes (Figura 4). Não foi feito orifício entre o primeiro e segundo compartimentos para garantir maior área de contato do fluido com as pedras de brita, no compartimento um. Para tanto, a entrada do fluido, no compartimento um, foi a um centímetro da base do equipamento forçando o deslocamento do líquido por toda a coluna de brita para poder sair por cima da superfície de separação entre os dois primeiros compartimentos.

Figura 4 – Fluxo de água da entrada do sistema até a saída.



Fonte: esquema elaborado pela autora.

Inicialmente, foi verificado o tempo de fluxo da água pelos compartimentos do sistema, sem estarem preenchidos (Figura 5A) e com brita e areia (Figura 5B). Posteriormente, foram sendo ajustadas as quantidades de orifícios entre os compartimentos internos para que água/efluente não passasse por cima das divisórias entre os compartimentos dois e três, três e quatro e quatro e cinco, assim como, saísse pelo orifício final, localizado sete centímetros da base para a borda superior do sistema, sem transbordar.

Figura 5 – Sistemas de fibra de vidro: compartimentos sem brita e areia (A), primeiro compartimento preenchido com brita e outros três com areia (B).



Fonte: Imagens feitas da autora.

O número mínimo de orifícios de 6 mm de diâmetro entre os compartimentos dois e três, três e quatro e quatro e cinco, para que água ou efluente não passasse direto por cima das divisórias entre os compartimentos, foi sete. Além disso, os ajustes foram feitos considerando os trabalhos de Henry-Silva e Camargo (2008) que avaliaram a eficiência de remoção de nitrogênio e fósforo de efluente de criação do camarão *Macrobrachium amazonicum* com macrófitas aquáticas em quinze tanques de fibra de 1m de largura por 2 m de comprimento. A vazão para eficiência do sistema foi de 1 l.min<sup>-1</sup> e tempo de residência de 17 horas, em cada tanque (HENRY-SILVA, CAMARGO, 2008). Em outra pesquisa, foi utilizado

1.350 litros por dia de efluente do camarão *Litopenaeus vannamei*, em uma fazenda na costa do estado do Ceará, numa área de 90 m<sup>2</sup> para determinar o ganho de biomassa da planta *Salicornia gaudichaudiana* (COSTA<sup>b</sup> *et al.*, 2006). A mesma espécie halófito *Sarcocornia ambigua*, conhecida, anteriormente, como conhecida como *Salicornia gaudichaudiana* foi irrigada com 2.000 litros de efluente do camarão *Litopenaeus vannamei* por dia numa área de 200 m<sup>2</sup> (COSTA *et al.*, 2014). Nesse caso, a dispersão do efluente foi por meio de valetas, sendo a cada dia distribuído cerca de 5 litros por 0,5 m<sup>2</sup> e tempo de residência de cerca de três dias para 45 litros de efluente.

Redimensionando esses valores para os experimentos de bancada dessa tese foi testada, primeiramente, a vazão de 50 ml.min<sup>-1</sup>, sendo reduzida para 25 ml.min<sup>-1</sup> e chegando-se a vazão ideal de 12 ml.min<sup>-1</sup>, em que o fluxo de líquido passou pelos compartimentos sem transbordar pelas laterais do sistema de fibra.

A montagem da cobertura para instalação dos sistemas, na área experimental, foi de acordo com as seguintes etapas: delimitação da área, abertura de quatro buracos, fixação das estacas no solo com cimento e brita (Figura 6A), colocação de duas vigas paralelas e cobertura da estrutura com plástico transparente usando grampeador de pressão (Figura 6B).

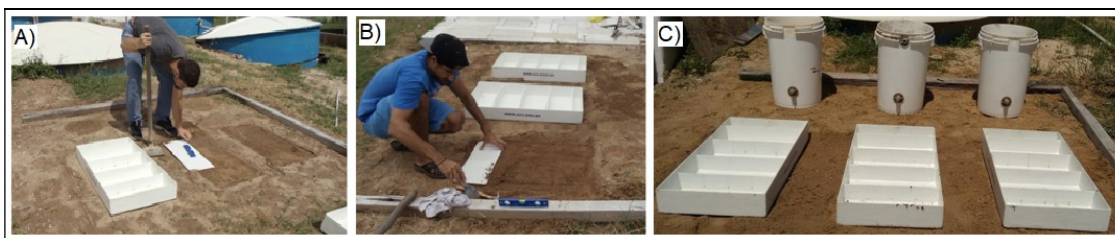
Figura 6 – Montagem de cobertura para instalação dos sistemas com a fixação das estacas no chão (A) e do plástico transparente por cima (B).



Fonte: Imagens feitas da autora.

Na área coberta, o solo foi carpido e nivelado (Figura 7A, 7B), sendo dispostos recipientes plásticos na extremidade da entrada dos sistemas, denominados decantadores - D (Figura 7C). Na sequência, foram feitos buracos (Figura 8A) e enterrados (Figura 8B) outros recipientes, na extremidade oposta, para recebimento da água/efluente na saída dos sistemas, denominados receptores – R.

Figura 7 – Nivelamento do solo (A), instalação dos sistemas (B) e disposição dos recipientes próximos a entrada de cada sistema (C).



Fonte: Imagens feitas da autora.

Figura 8 – Montagem do experimento: (A) recipientes, decantadores – D, de água/efluente para encaminhamento aos sistemas, e (B) os recipientes, receptores – R, com tampas alaranjadas, enterrados após os sistemas para o recebimento da água/efluente por gravidade.



Fonte: Imagens feitas da autora.

Na primeira testagem os sistemas foram submetidos a fluxo de água por gravidade. A torneira (Figura 9A) instalada no recipiente de plástico era aberta manualmente para permitir a passagem de 35 litros até chegar à marca do volume morto no recipiente decantador – D (Figura 9B).

Figura 9 – Torneira do recipiente (A) e marcação do volume morto do recipiente (B).



Fonte: Imagens feitas da autora.

As torneiras dos recipientes foram retiradas e o fluxo de distribuição de água/efluente controlado por bombas dosadoras (Figura 10A). Para tanto, foi necessária a construção de uma casa de bombas de alvenaria para armazenamento de três bombas, uma para cada sistema, e de três recipientes com água ou efluente. Em cada bomba foi conectada uma mangueira pneumática contendo filtro na extremidade oposta que ficou em contato com a água ou o efluente do recipiente. Água/efluente succionados pelas bombas dosadoras eram conduzidos, por mangueiras de silicone de ½”, até a entrada de cada sistema. Na parte externa da casa de bombas, o plástico transparente da estrutura de cobertura dos sistemas foi recoberto com sombrite 80% para evitar o aquecimento das estruturas (Figura 10B).

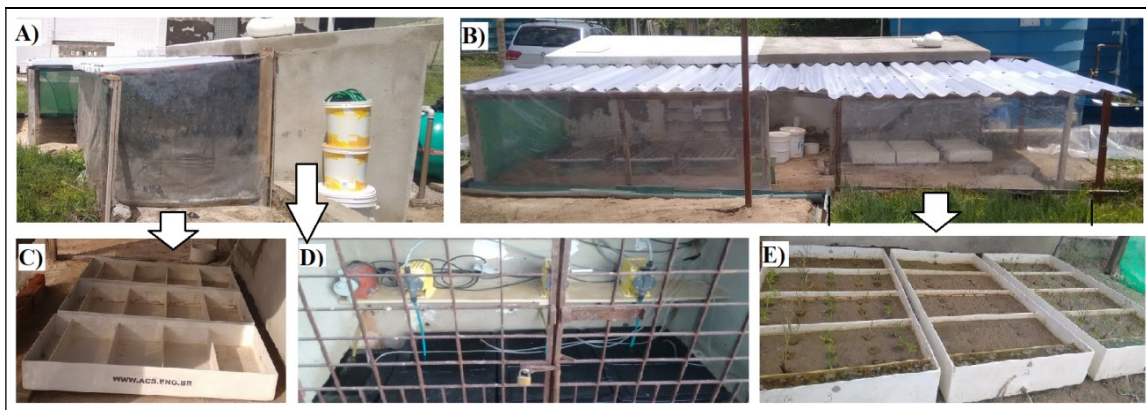
Figura 10 – Bombas dosadoras, mangueiras pneumáticas azuis e recipientes com água/efluente (A). Cobertura dos sistemas com sombrite (B).



Fonte: Imagens feitas da autora.

Para o experimento com recirculação de água de criação de camarões, os sistemas foram remanejados para próximo à casa das bombas dosadoras (Figura 11A, 11B, 11C, 11E), sendo instaladas telhas translúcidas brancas com sombrite de 50% para cobri-los (Figura 11A, 11B). Além disso, foram enterradas caixas de plástico pretas (Figura 11D), com capacidade de 61 litros, denominadas tanques, dentro da casa de bombas (Figura 11A, 11D). Esses tanques foram povoados com camarões e integrados aos sistemas com e sem cultivo de plantas, submetidos a recirculação contínua de água, para testar modelo de funcionamento dos sistemas em aquaponia.

Figura 11 – Remanejamento do local dos sistemas: vista lateral (A); vista frontal com cobertura de telhas (B); sistemas, visão lateral (C); casa de bombas com os tanques enterrados (D); sistemas com plantas cultivadas, vista de frente (E).



Fonte: Imagens feitas da autora.

### ***1.2.2 Aquaponia: estrutura de cultivo para as plantas, tanques de criação de camarão e acessórios***

Algumas maquetes (Figura 12) foram feitas até chegar ao protótipo funcional para o cultivo das halófitas (Figura 12G, 12H) em experimento de bancada com sistema de aquaponia. Apenas a primeira maquete, de bancada hidropônica (Figura 12A), e a terceira (Figura 12C) não foram reproduzidas para realização de testes. As estruturas apresentadas nas figuras 12B, 12D, 12E e 12F foram testadas verificando-se o enraizamento das halófitas. Nas estruturas das figuras 12E e 12F o efluente foi jogado para dentro dos canais de irrigação das plantas com bombas movidas por placas de energia solar.

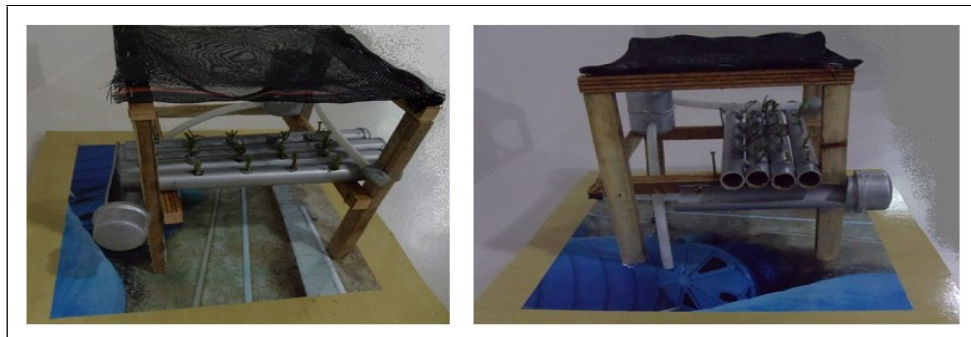
Figura 12 – Protótipos para cultivo de halófitas em: sistema de calha (A); conexões de cano PVC (B); suporte móvel (C); cano PVC de 40 mm e bomba d'água elétrica (D); cano PVC de 40 mm e bomba d'água a energia solar (E); cano PVC de 50 mm e bomba d'água a energia solar (F); protótipo definitivo referente ao experimento do capítulo três, visão lateral (G) e frontal (H).



Fonte: Imagens feitas da autora.

A primeira maquete (Figura 13) foi construída em sistemas de calha, conforme modelos aplicados em experimentos do Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, na Universidade Federal de Santa Catarina (CANASTRA, 2017; PINHEIRO, 2015; SOARES NETO, 2017).

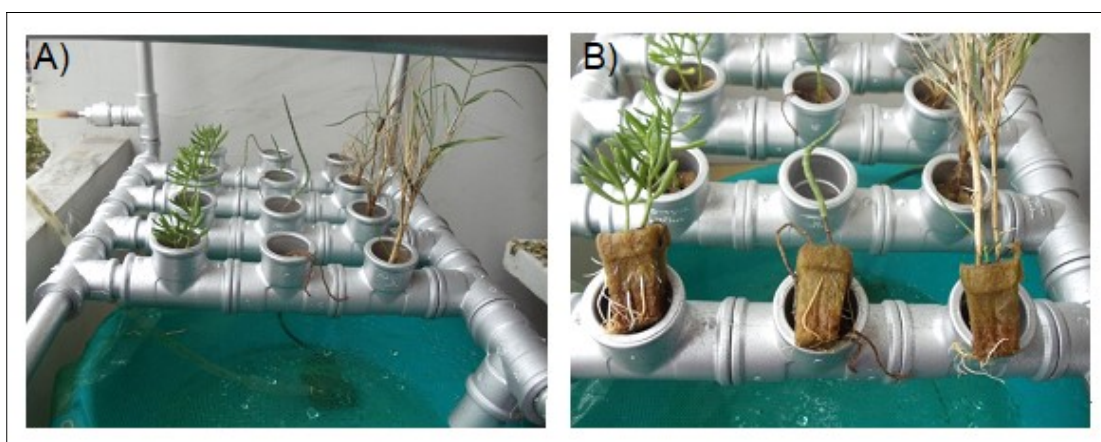
Figura 13 – Maquete em sistema de bancada hidropônica para cultivo de plantas, vista em dois ângulos.



Fonte: Imagens feitas da autora.

As outras seis maquetes foram construídas com canos PVC e conexões dispostas de tal forma que havia apenas uma entrada e uma saída de água. A segunda maquete (Figura 14A, 14B) foi construída apenas com o encaixe e colagem de conexões do tipo tê e joelho, de 32 mm de espessura. As plantas cultivadas receberam água do efluente da criação de camarão, sendo testadas em sistema de NFT ou fluxo laminar de nutriente (Figura 14A) e com espuma fenólica, que serviu apenas como suporte para a estabilização das plantas na estrutura de cultivo (Figura 14B).

Figura 14 – Estrutura para cultivo das plantas *Batis maritima* e *Sporobolus virginicus* construídas com conexões tê de PVC, 32 mm, com cultivo em NFT (A) e em suporte de espuma fenólica (B).



Fonte: Imagens feitas da autora.

As outras cinco estruturas foram confeccionadas com cano PVC e conexões tê e joelho, cola para plástico e bico de torneira com encaixe de conexões de plástico. A sequência de imagens da figura 15 mostra, passo a passo, as principais etapas de montagem das estruturas.



Figura 15 – Montagem de estrutura em cano PVC para cultivo de plantas: encaixe conexões (A), vedação com plástico das conexões nas extremidades (B), colagem das conexões (C), colagem dos canos PVC (D), abertura de buracos de 2,5 cm, (E), encaixe e colagem das conexões (F), cultivo das mudas em suporte de esponja fenólica (G).



Fonte: Imagens feitas da autora.

As quatro estruturas (Figura 12D, 12E, 12F e 12G) confeccionadas com canos e conexões PVC e acessórios foram testados quanto a capacidade de enraizamento das mudas de halófitas. O comprimento (1 m e 1,2 m) e diâmetro (32 mm, 40 mm e 50 mm) dos canos e conexões (20 mm, 32 mm, 40 mm e 50 mm), distanciamento entre os canos dispostos paralelamente, tempo de fluxo da água, forma de fixação das mudas das plantas nas estruturas e irrigação das mesmas foram alguns aspectos diferenciados entre as estruturas em teste.

Os dois protótipos construídos para funcionamento com bombas d'água movidas por placas solares foram testados em cima de caixas d'água de 500 ml e 1000 ml. Um dos

protótipos era de cano PVC, conexões tê e joelho de 40 mm (Figura 16A) e o outro com cano de 50 mm, conexões de 20 mm no lado da entrada de água e de 50 mm no lado da saída de água (Figura 16B).

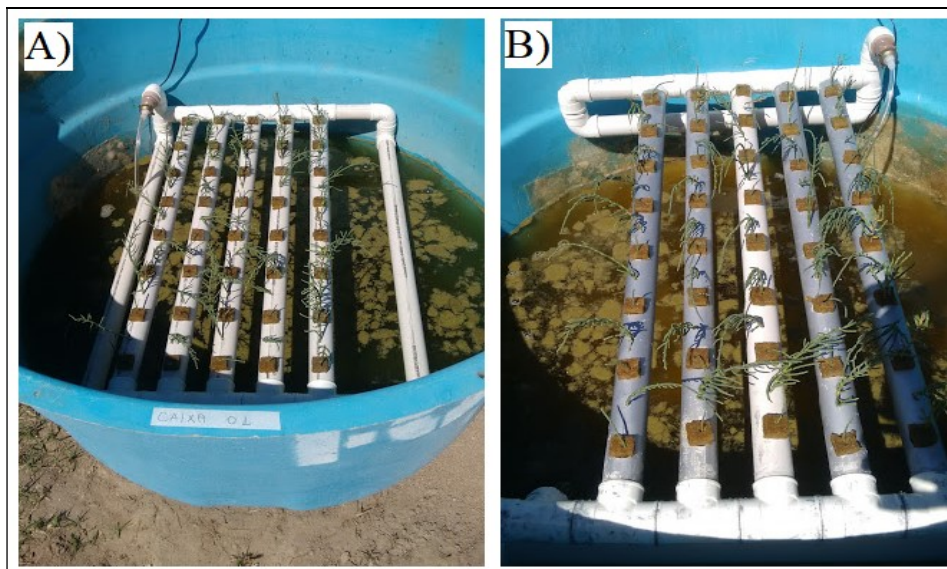
Figura 16 – Protótipos com placas solares: estruturas de cano PVC e conexões de 40 mm (A), de cano PVC de 50 mm e conexões de 20 e 50 mm.



Fonte: Imagens feitas da autora.

Outros dois protótipos com canos PVC e conexões de 40 mm, funcionaram com bomba elétrica, diferenciando-se pela estrutura de suporte para apoio nas caixas d'água de 500 litros (Figura 17).

Figura 17 – Protótipos com bomba d'água elétrica: com suporte de apoio lateral (A) e suporte de apoio nas pontas (B).

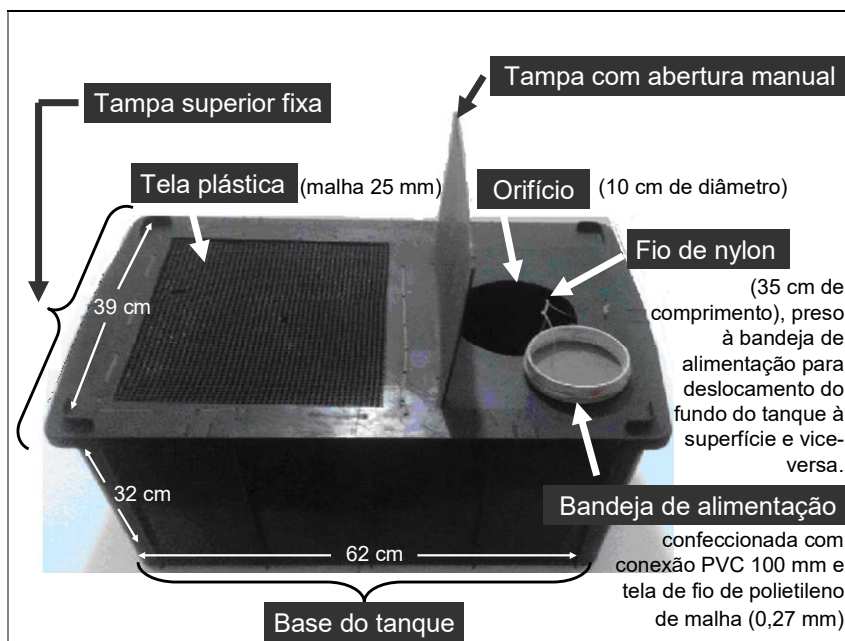


Fonte: Imagens feitas da autora.

O sistema de aquaponia do experimento de bancada, do capítulo três, com o protótipo considerado funcional constituiu-se de um tanque (Figura 18) para a criação dos camarões e uma estrutura de cano PVC (Figura 19) para o cultivo das plantas. Peças acessórias foram inseridas nos tanques para a alimentação dos camarões (Figura 18), oxigenação da água (Figura 20) e recirculação da mesma.

Os tanques, de formato retangular com capacidade de armazenamento para 61 litros de água, preto e em material plástico de polipropileno, tiveram as tampas adaptadas, sendo feitos dois orifícios. Num dos orifícios foi instalada uma tampa com abertura manual para a oferta de alimento aos camarões e, no segundo foi revestido com tela plástica para proporcionar trocas gasosas na superfície do tanque (Figura 18).

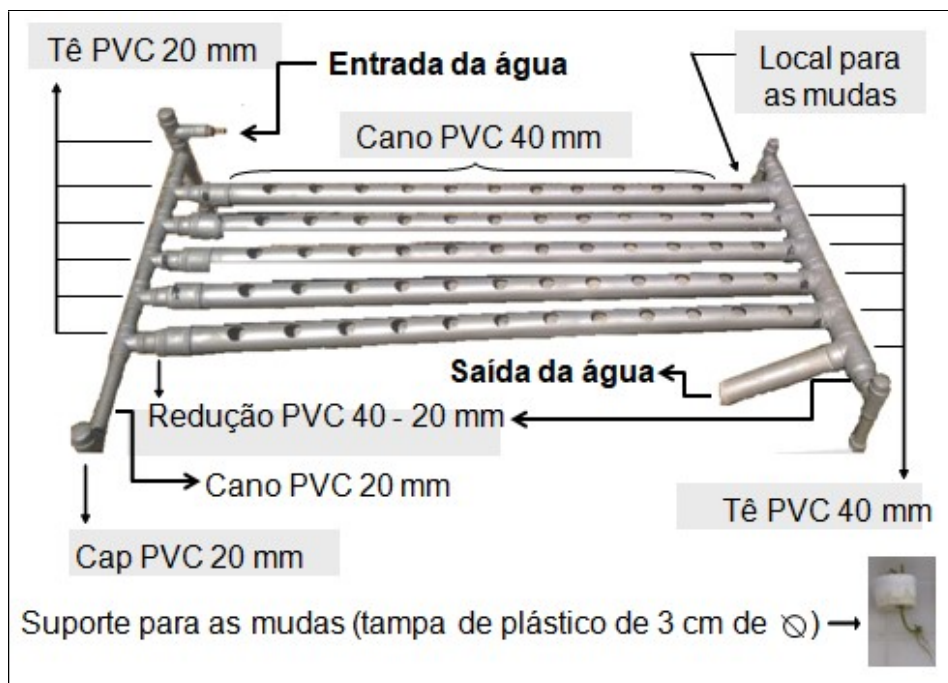
Figura 18 – Detalhes e acessórios do tanque de criação de camarão.



Fonte: Imagens feitas da autora.

As estruturas para o cultivo das plantas foram confeccionadas com cano PVC. Cinco tubos foram dispostos paralelamente e conectados nas extremidades (Figura 19). Cada muda teve como base para enraizamento e cultivo uma tampa plástica de garrafa de 3 cm de diâmetro com um orifício no centro (Figura 19). Para fixação das mudas na estrutura de cultivo foram feitas aberturas de 3 cm de diâmetro na parte superior do tubo com distanciamento de 6 cm uma da outra.

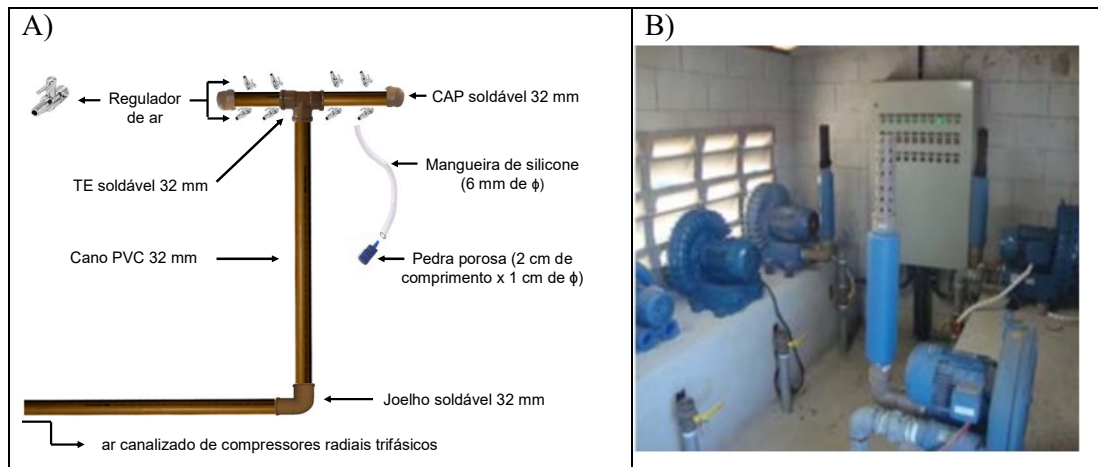
Figura 19 – Detalhes da estrutura para cultivo das plantas construída em cano de PVC, com cap nas extremidades livres e com conexões, tê e de redução do cano de 40 para 20 mm.



Fonte: esquema e imagem elaborados pela autora.

O sistema para aeração dos tanques foi constituído por pedra porosa cilíndrica e mangueira de silicone conectada à base de um cano PVC por reguladores de ar (Figura 20A). Em cada tanque, uma pedra porosa ficou submersa para a oxigenação da água. Compressores radiais trifásicos, localizados numa casa de sopradores dentro do CEAC, foram de onde o ar comprimido foi captado (Figura 20B).

Figura 20 – Sistema de aeração dos tanques (A) e casa de sopradores (B).



Fonte: esquema e imagem elaborados pela autora.

Cada sistema de aquaponia (Figura 21) foi composto por uma estrutura de cultivo para plantas (Figura 19) e um tanque de criação de camarão (Figura 18). Uma mangueira de silicone de ½ polegada de diâmetro foi conectada no bico de torneira da “Entrada da água” (Figura 19) da estrutura de cultivo das plantas até uma bomba submersa (modelo S520, Sarlobetter), instalada dentro do tanque para recirculação da água.

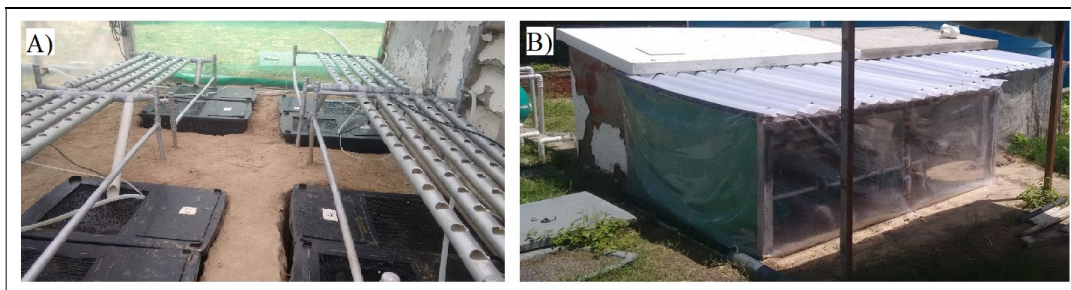
Figura 21 – Sistema de aquaponia: estrutura de cultivo de plantas halófitas e tanque de criação de camarão. Início do experimento, descrito no capítulo três, com mudas de *Batis maritima* (A) e ao final do experimento de bancada com *Batis maritima*, *Sporobolus virginicus* e *Sarcocornia ambigua*.



Fonte: Imagens feitas da autora.

A área experimental com os tanques e estruturas para cultivo das plantas (Figura 22A) foi coberta com telhas brancas translúcidas e por baixo sombrite 50% (Figura 22B). Duas laterais menores opostas foram fechadas com tela de nylon verde e plástico transparente; as laterais maiores num dos lados fechada com plástico transparente, deixando um vão de 1 m de largura para acesso ao local, e; no outro lado estava encostado a uma parede de concreto.

Figura 22 – Experimento de bancada com as estruturas de aquaponia instaladas (A) e área experimental coberta com telhas translúcidas e sombrite 50% (B).



Fonte: Imagens feitas da autora.

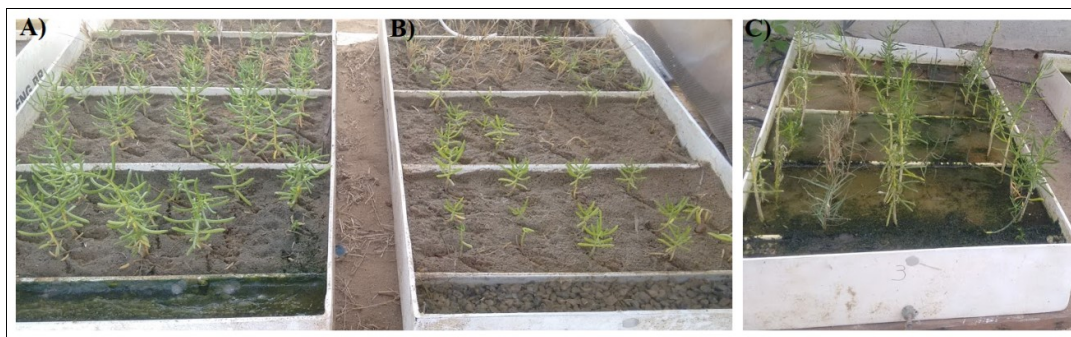
### I.3. Resultados e discussão

#### I.3.1 Sistemas de fibra de vidro

A primeira pré-testagem do funcionamento dos protótipos com fluxo de água/efluente por gravidade não funcionou. Um dos problemas detectados foi que o fluxo do líquido cessava sem que a torneira fosse fechada e antes de ter chegado à marcação do volume morto do recipiente de decantação – D. Possivelmente, foi devido à pressão exercida pelo líquido acumulado, gradativamente, no sistema tornando a pressão gravitacional da coluna de água do recipiente, localizado a frente da entrada do sistema, insuficiente para manter o fluxo. A alternativa encontrada para resolver esse problema foi o uso de bombas dosadoras movidas por energia elétrica, com as quais o fluxo manteve-se de acordo ao que foi estipulado para os experimentos realizados com sistemas de fibra de vidro.

No experimento sem recirculação de água (Figura 23A, 23B), os sistemas, inicialmente, foram cobertos apenas com plástico transparente, ocasionando aquecimento da água. Devido o tamanho de cada sistema ser pequeno e o substrato dentro não ter contato direto com o chão para dissipar o calor, havendo super aquecimento da água/efluente em contato com as plantas cultivadas. Dessa forma, foi necessário fazer a cobertura com sombrite para não prejudicar o desenvolvimento das plantas. O sombrite 80%, instalado sobre o plástico transparente auxiliaram o desempenho melhor das plantas, principalmente, nos estágios iniciais, garantindo a sobrevivência das mesmas.

Figura 23 – Experimento sem recirculação de água, cultivo de plantas halófitas com água residuária de camarão (A) e com água do rio Pacoti (B). Experimento com recirculação de água, cultivo de halófitas integrada à criação de camarão (C).



Fonte: Imagem feita pela autora.

Na cobertura de telhas translúcidas com sombrite 50%, após o primeiro mês de cultivo das plantas elas começaram a ficar estioladas, indicando luminosidade insuficiente (Figura 23C). Para o cultivo das plantas nesses sistemas de bancada, o sombreamento com sombrite 80% apresentou melhor aspecto para o desenvolvimento das plantas do que com cobertura de telhas translúcidas e sombrite 50%. Além disso, a cobertura do experimento com sem recirculação da água estava a 1,80 m do chão, enquanto do experimento com recirculação, tinha 1,30 m de altura, limitando ainda mais a entrada de claridade pelas laterais.

Os sistemas de fibra de vidro e a operacionalização dos experimentos de bancada, realizados em 2016 e 2017, embora funcionais, não foram reproduzidos em escala maior por questões logísticas. No local em que projeto aprovado seria executado com protótipo sete vezes maior ao dos sistemas testados, o sistema de criação de camarão foi readequado sem trocas de água. Desta forma, a irrigação das plantas em *wetland* não seria possível, pela indisponibilidade de efluente descartado.

### ***1.3.2 Aquaponia: estrutura de cultivo para as plantas, tanques de criação de camarão e acessórios***

Estruturas com canos PVC, para cultivo de plantas halófitas em sistema de aquaponia, foram testadas até chegar ao protótipo funcional usado no experimento de bancada apresentado no capítulo três desta tese. A primeira maquete em modelo de calhas foi descartada, por não ser possível adequar a saída de água, dos quatro canos dispostos paralelamente, ao tamanho dos tanques de criação de camarão e espaço disponível para instalação do experimento. Além disso, perdas de água na saída dos canos seriam muito significativas para a proporção do tamanho da estrutura de bancada montada. Outra maquete, não reproduzida para teste, foi a com suporte em cano PVC de 25 mm por não apresentar estabilidade para manter-se fixo.

O protótipo feito com conexões de 32 mm não se adequou por duas razões: o local para inserção das mudas ficou muito alto reduzindo o contato da área de enraizamento das plantas com o fluxo laminar de nutrientes, e; o espaço para o desenvolvimento das raízes ficou reduzido devido o diâmetro das conexões. Para as outras estruturas com os canos PVC, as de diâmetro 40 mm apresentaram melhor desempenho para otimização do enraizamento e crescimento das plantas. Nas estruturas com canos de 50 mm não foi possível adequar um suporte funcional e econômico, em que as plantas recebessem fluxo do efluente para o enraizamento. As conexões mais adequadas nas extremidades dos canos foram as de 20 mm

de diâmetro no lado da entrada da água e de 40 mm, do mesmo tamanho do cano, no lado voltado para a saída da água.

As bombas movidas por placas solares não foram eficientes, pois funcionavam apenas com a incidência solar. As plantas ficaram por períodos prolongados, durante a noite e quando o dia estava nublado, sem receberem água e sucessivamente as raízes secaram. Nas estruturas movidas por bombas elétricas houve enraizamento e crescimento das plantas, mas quando expostas a irradiação solar direta, antes das raízes estarem bem desenvolvidas, acarretou taxa de sobrevivência muito baixa.

Entre as plantas submetidas ao sistema de NFT ou fluxo laminar de nutriente e cultivadas em espuma fenólica não foram observadas diferenças no crescimento. Embora diferenças não tenham sido constatadas, a espuma foi dilatando e ocupando o espaço dentro dos canos reservado para o desenvolvimento das raízes.

#### **I.4. Considerações finais**

Nos equipamentos experimentais de bancada a incidência direta do Sol nas plantas comprometeu a sobrevivência das mudas pelo super aquecimento da água nas estruturas. Em estruturas experimentais de escala maior, a circulação do ar pode favorecer o resfriamento da água de cultivo, não sendo necessário o uso de sombrite e otimizando o processo fotossintético para o maior crescimento das plantas.

A espécie *Batis maritima* e *Sarcocornia ambigua* cultivada nos protótipos de fibra de vidro apresentaram desenvolvimento, ou seja, crescimento em altura e ganho de biomassa, menores do que as plantas cultivadas nos sistemas de aquaponia em cano PVC. Na escala experimental de bancada os protótipos de cano PVC de diâmetro 40 centímetros foram os que apresentaram melhor funcionalidade para tratamento dos efluentes. Mesmo, assim, os protótipos funcionais precisarão ser readequados para o cultivo de plantas no espelho d'água de tanques de fazendas de camarão para sistemas flutuantes. Será necessário um suporte para que flutuem e adequação das bombas d'água com placa solar para funcionarem ininterruptamente.

#### **Referências**

BARROS, João Pedro Alves de Azevedo; JIMENEZ, Denisie Maria Ramiro da Silva; OLIVEIRA, Fabiano Ribeiro; HENARES, Matheus Nicolino Peixoto. Tratamento de esgoto doméstico com wetland povoada com *Eichhornia cassipes*. **XII Congresso Nacional de Meio**



**Ambiente de Poços de Caldas.** 20-22 mai. 2015.

BIUDES, José Francisco Vicente. **Uso de wetlands no tratamento de tratamento de efluentes de carcinicultura.** 2007. 103 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2007.

BRASKERUD, B. C. Factors affecting nitrogen retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution. **Ecological Engineering**, v18, p. 351-370, 2002.

BUHMANN, Anne; PAPENBLOCK, Jutta. Biofiltering of aquaculture effluents by halophytic plants: Basics principles, current uses and future perspectives. **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, p. 122-133, 2013.

CANASTRA, Inês Isabel de Oliveira. **Aquaponia: Construção de um sistema de aquaponia a uma escala modelo e elaboração de um manual didático.** 2017. 143 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Biológicos Aquáticos) – Universidade de Porto, Faculdade de Ciências, Portugal, 2017.

CARVALHO, R. A. A. **Diagnóstico e caracterização molecular do vírus da mancha branca (WSSV) em camarões *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) cultivados no Vale do Rio Açu, Rio Grande do Norte, Brasil.** 2017. 84 f. Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

COSTA<sup>a</sup>, Norma Beatriz C. **Gestão sócio-ambiental de empresas de carcinicultura do litoral oeste do Estado do Ceará.** 2006. 120 f. Dissertação (Programa de Mestrado Profissional em Controladoria) – Programa de Mestrado Profissional, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

COSTA<sup>b</sup>, C. S. B. A Salicornia: Uma planta que pode ser utilizada no cultivo integrado com o camarão. **Panor Aquic (Braz)**, v. 98, p. 28-33, 2006.

COSTA, César S.B ; VICENTI, Juliano R.M ; MORÓN-VILLARREYES, Joaquín A ; CALDAS, Sergiane ; CARDOSO, Liziane V ; FREITAS, Ricardo F ; D'OCA, Marcelo G.M. Extraction and characterization of lipids from *Sarcocornia ambigua* meal: a halophyte biomass produced with shrimp farm effluent irrigation. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 2, p. 935-943, 2014.

FABIANO, R. B. **Conflitos socioambientais e gestão integrada e sustentável de recursos pesqueiros.** 2004, 102 f. Dissertação (Mestrado em Sociologia Política) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Florianópolis, 2004. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/87791/212670.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 08 mai. 2015.

FERNANDES, Albaniza Rodrigues. **A produção midiática da maré do camarão no Ceará.** 2007. 178 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências, Fortaleza, CE, 2007.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Tratamento de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas Flutuantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.2, p.181-188, 2008.

IBAMA (2005) - **Diagnóstico da Atividade de Carcinicultura no Estado do Ceará**. IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Fortaleza, CE, Brasil. Disponível em: <http://sispub.oktiva.com.br/oktiva.net/anexo/13454>. Acesso em: 08 jun. 2018.

NUNES, Alberto J. P.; FEIJÓ, Rubens Galdino. O vírus da Mancha Branca e a convivência no cultivo de camarão marinho no Brasil. *Revista Panorama da Aquicultura*, Edição 162, 2017. Disponível em: <https://panoramadaaquicultura.com.br/o-virus-da-mancha-branca-e-a-convivencia-no-cultivo-de-camarao-marinho-no-brasil/>. Acesso em: 04 mai. 2018.

PINHEIRO, Isabela Claudiana. **Produção da halófito *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* em sistema de aquaponia com bioflocos**. 2015. 48 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis, SC, 2015.

SOARES NETO, Joaquim da Rocha. **Cultivo de *Sarcoconia ambigua* em aquaponia com *Litopenaeus vannamei* em bioflocos com diferentes áreas de bancada hidropônica**. 2017. 47 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis, SC, 2017.

SOUSA, Wilson Treger Zydowics. **Tratamento de efluentes de carcinicultura por dois *Wetlands* artificiais pilotos, com e sem *Spartina alterniflora* – perspectivas de aplicações**. 2003. 92 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

TANCREDO, K. R.; NOBREGA, R. O.; DIAS, T.; LAPA, K. R. Impactos Ambientais da Carcinicultura Brasileira. **3º International Workshop: Advances in Cleaner Production Initiatives and Challenges for a Sustainable World**. São Paulo – Brasil. 2011. Disponível em: [http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/6A/6/Tancredo\\_KR%20-%20Paper%20-%206A6.pdf](http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/6A/6/Tancredo_KR%20-%20Paper%20-%206A6.pdf). Acesso em: 09 jun. 2015.

## CAPÍTULO II – CULTIVO DE *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* E *Sporobolus virginicus* COM ÁGUA RESIDUÁRIA DO CULTIVO DE *Litopenaeus vannamei*

### Resumo

As águas residuárias de carcinicultura podem ser reaproveitadas para o cultivo de plantas evitando, assim, o descarte direto no ambiente e economizando água. Nesta perspectiva este trabalho compara o crescimento de plantas halófitas quando cultivadas com água residuária da criação de camarão e com água do estuário do rio Pacoti; a interação entre o cultivo integrado de plantas halófitas com camarões em sistemas de recirculação de água; e variações físico-químicas das águas residuárias antes e após serem submetidas a sistema de tratamento com plantas halófitas. Para tanto, foram realizados dois experimentos de bancada utilizando-se caixas de fibra para o cultivo das halófitas. Em ambos os experimentos foram medidos o crescimento das plantas, semanalmente, e as massas inicial e ao final do experimento. As taxas de crescimento relativo e absoluto foram mensuradas para a massa e altura das espécies vegetais. As taxas de crescimento absoluto para a massa da espécie *Batis maritima* do Experimento 1 irrigadas com água do Rio e com efluente e do Experimento 2, com recirculação de efluente de criação de camarão, foram, respectivamente, -0,001 gramas por dia, 0,028 gramas por dia e 0,022 gramas por dia. Os dados indicaram que halófitas cultivadas com águas residuárias de carcinicultura apresentam crescimento maior, assim como, há redução de nitrogênio e amônia em meio de cultivo com a presença das plantas.

Palavras-chaves: Efluente de camarão. Plantas halófitas. Recirculação.

### Abstract

Cultivating *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* and *Sporobolus virginicus* with wastewater from the cultivation of *Litopenaeus vannamei*. Shrimp wastewater can be reused for plant cultivation, thus avoiding direct disposal into the environment and saving water. This study evaluated the following: the growth of halophytes cultivated with shrimp culture water and water from an estuary; the interaction between the integrated cultivation of halophytes and shrimp in water recirculation systems; and physicochemical variables of wastewater before and after being treated with halophytes. Two bench experiments were carried out using fiber boxes to cultivate the halophytes. In both experiments, growth and initial and final mass of the

plants were measured weekly. The relative and absolute growth rates were measured for the mass and height of the plant species. The absolute growth rates for *Batis maritima* of systems one and two of the first experiment, and of the system of plants of the second experiment, were  $-0.001 \text{ g.d}^{-1}$ ,  $0.028 \text{ g.d}^{-1}$  and  $0.022 \text{ g.d}^{-1}$ , respectively. The data indicated that halophytes cultivated with shrimp wastewater had higher growth and that the nutrients of the culture medium were reduced in the presence of plants.

Key words: Effluent of shrimp. Halophytic plants. Recirculation.

## II.1 Introdução

Halófitas são plantas promissoras para diferentes tipos de aplicações devido à composição química e características fisiológicas especiais que possibilitam o crescimento em ambientes salinos (BUHMANN; PAPENBROCK, 2013). Têm capacidade para acumular metais pesados, tornando-as propícias para fitoextração e fitoestabilização em solos contaminados (VAN OOSTEN; MAGGIO, 2015).

Pesquisas indicam também o uso de halófitas para a complementação da dieta de caprinos (SHAER, 2010); produção de subprodutos de valor nutricional, medicinal e artesanal para o ser humano (KSOURI *et al.*, 2012); redução da salinidade do solo (QADIR *et al.*, 2007; HASANUZZAMAN *et al.*, 2014); tratamento de águas residuárias possibilitando o reúso; dar origem a subprodutos utilizados na indústria química (LIETH *et al.*, 2008); produção de biodiesel (SOTIROUDIS *et al.*, 2010); e captura de  $\text{CO}_2$  da atmosfera (LIETH *et al.*, 2008).

Dentre as plantas halófitas, algumas se destacam para uso humano. A importância descrita na literatura para a espécie *Batis maritima* (Linnaeus) inclui: proteção de zonas costeiras e estabilização de substrato; cultura potencial para solos salgados e salinos; valor nutritivo, por conter 17,3% de proteína bruta e 25% de óleo; uso de suas folhas em saladas, em Porto Rico, e na medicina popular para tratamento de gota, eczema, psoríase, reumatismo, sangue e distúrbios da tireóide; fornecimento de nutrição e cobertura para animais selvagens; uso para curar infecções cutâneas na Península de Yucatán no México (LONARD *et al.*, 2011); e suas sementes serem ricas em aminoácidos, como lisina e metionina (MARCONE, 2003).

Já a espécie *Sporobolus virginicus* (C. Linnaeus) K. Kunth, da família Poaceae (Gramineae), é um capim de crescimento estimulado pela presença de sal e tem ampla

distribuição nas costas dos hemisférios norte e sul do globo terrestre (LONARD *et al.*, 2013). A espécie é utilizada para controle de erosão em praias e para estabilizar substratos costeiros arenosos; fornece forragem de boa qualidade para gado, cabras, ovelhas e camelos; disponibiliza cobertura e comida para grande diversidade de seres selvagens; é fonte de nutrição para espécies de camarão e caranguejos; no Havaí é usada na medicina popular para tratar aftas, doença da infância e enfraquecimento físico (LONARD *et al.*, 2013).

A *Sarcocornia ambigua* (Michx.) M.A. Alonso & M.B. Crespo é uma espécie perene da família Chenopodiaceae, que apresenta um grande potencial biotecnológico como uma cultivar que pode ser irrigada com água salgada (D'OCA *et al.*, 2012). Este gênero encontra-se distribuído na América do Sul, ocorrendo da costa da Venezuela até a foz do rio Plata, na Argentina (D'OCA *et al.*, 2012). Estudos indicaram potencial desta espécie como fonte valiosa de antioxidantes naturais e nutrientes para uso nas indústrias alimentar e farmacêutica (BERTIN *et al.*, 2014).

De forma geral, as plantas halófitas apresentam diversidade estrutural de constituintes químicos (vitaminas, minerais e compostos bioativos) pela complexidade fisiológica. São plantas que se adaptaram a ecossistemas costeiros e, portanto, seu ciclo de vida ocorre em ambientes com elevada concentração salina entre 100 a 500 mmol.l<sup>-1</sup> de NaCl (FLOWERS; COLMER, 2008).

As características fisiológicas específicas de plantas halófitas possibilitam a associação do cultivo destas espécies com atividades de carcinicultura, tanto para produção de biomassa vegetal quanto para tratamento da água residuária, de acordo com estudos que vêm sendo realizados com sucesso (PINHEIRO *et al.*, 2017).

A carcinicultura, embora gere empregos, impulsiona conflitos relacionados à salinização dos lençóis freáticos, à destruição de manguezais, aos riscos de introdução de espécies exóticas e de difusão de epidemias entre os animais de criação e à desestruturação das comunidades de pescadores artesanais; além disso, o lançamento de dejetos oriundos do sistema produtivo tem excedido a capacidade de assimilação dos ecossistemas nos quais os empreendimentos estão inseridos (FABIANO, 2004).

As águas residuárias de carcinicultura descartadas diretamente no ambiente, sem tratamento prévio, contêm restos de alimentos, fezes e fragmentos de animais, podendo causar a deterioração das águas dos corpos receptores ou eutrofização (RIBEIRO *et al.*, 2014). Consequentemente, podem ocasionar modificação do habitat resultando em perda de flora e fauna (RIBEIRO *et al.*, 2014), sendo necessário buscar alternativas de recirculação e destino adequado para essas águas residuárias.

Usualmente, o tratamento da água residuária para remoção dos poluentes é feito em tanques ou bacias de sedimentação e *wetlands* construídas (BIUDES, 2007). *Wetlands* construídas são sistemas desenhados para utilizar processos naturais para remoção de poluentes da água residuária (KIVAISI, 2001) atuando, principalmente, na remoção de nitrogênio e fósforo por sedimentação, precipitação química e adsorção (BRASKERUD, 2002). As *wetlands* que utilizam plantas halófitas possibilitam o tratamento de águas residuárias salinizadas combinado à produção de culturas secundárias valiosas (BUHMANN; PAPENBROCK, 2013).

Estudo que avaliou o cultivo integrado de *Sarcocornia ambigua* e o camarão *Litopenaeus vannamei*, em sistema aquapônico, concluiu que o aproveitamento do nitrogênio fornecido ao sistema foi mais eficiente no tratamento com plantas; assim como, a qualidade da água na presença das plantas manteve-se adequada para o cultivo dos camarões (PINHEIRO *et al.*, 2017).

Dessa forma, este trabalho visou comparar o crescimento das plantas halófitas *Batis maritima* e *Sporobolus virginicus* cultivadas com água residuária do cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei* e com água do estuário do rio Pacoti (CE); verificar a interação entre o cultivo das halófitas *B. maritima*, *Sarcocornia ambigua* e *S. virginicus* com camarões em sistemas de recirculação de água; e determinar a qualidade físico-química das águas residuárias antes e após serem submetidas ao cultivo de halófitas.

## II.2 Materiais e Métodos

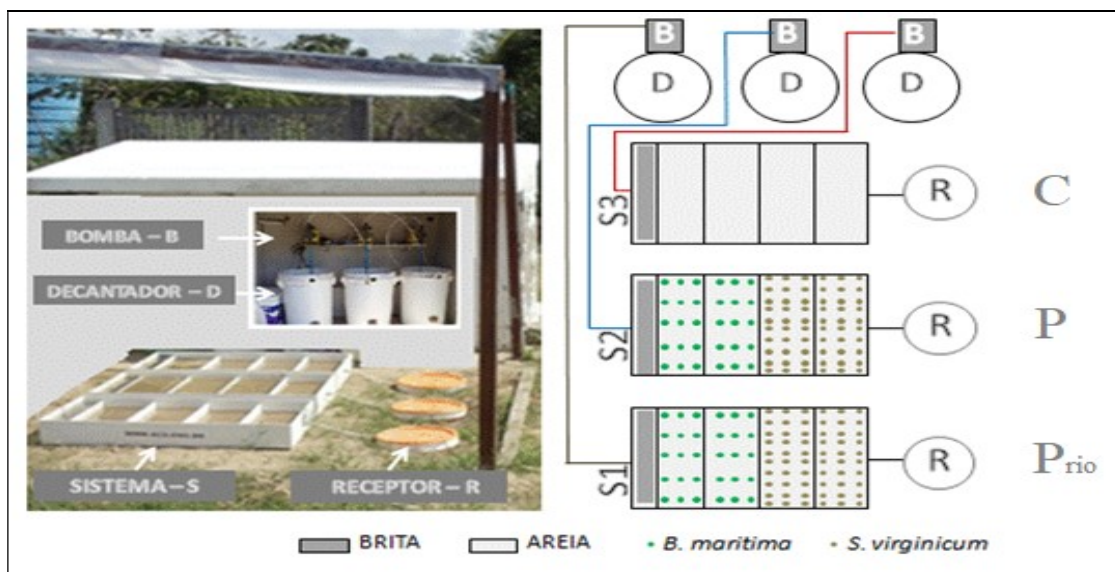
### II.2.1 Funcionamento dos experimentos

O estudo foi realizado no Centro de Estudos em Aquicultura Costeira/CEAC, Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, contemplando dois experimentos. No primeiro experimento, realizado em 2016, as plantas foram cultivadas durante cento e onze dias, e no segundo, em 2017, durante setenta dias.

No Experimento 1 foram montados três sistemas/*wetlands* em escala de bancada de material de fibra de vidro (0,90 m de comprimento x 0,48 m de largura x 0,11 m de profundidade), contendo cinco compartimentos, ligados por mangueiras de silicone a depósitos de plásticos localizados em cada uma das extremidades (Figura 1). O primeiro sistema recebia água do rio Pacoti ( $P_{\text{rio}}$ ) armazenada em tanques de 20 mil litros. Os outros dois sistemas foram irrigados com águas residuárias da criação de camarão coletada do

descarte dos tanques experimentais do Laboratório, sendo o sistema dois com plantas (P) e o três sem plantas (C), controle. Os sistemas foram protegidos, com lona cinza, da chuva e da radiação solar direta.

Figura 1 - Esquema do primeiro experimento. Sistemas: S1 – com plantas e água do Rio ( $P_{rio}$ ); S2 – com plantas e efluente (P); S3 – sem plantas e com efluente (C – Controle).



Fonte: imagem e esquema elaborados pela autora.

Quarenta e quatro litros de água do Rio ( $P_{rio}$ ) e de efluente de camarão (P e C) eram colocados nos decantadores - D, permanecendo por 1 h, para sedimentação dos sólidos mais pesados. Depois as bombas eram ligadas com ciclos de aplicação semanais, sendo o tempo de aplicação de dois a três dias até a passagem de 35 litros com vazão de  $12 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$  e o tempo de descanso de quatro a cinco dias. O volume recebido nos receptores - R era medido e, posteriormente, descartado antes do início do ciclo de aplicação seguinte, para registro do volume de água perdida, semanalmente.

Durante as oito primeiras semanas as águas do estuário e residuária foram diluídas em água do abastecimento público nas proporções de água potável : água do Rio ou efluente de criação de camarão de 75% : 25% para as três primeiras semanas; 50% : 50% nas quatro semanas seguintes, e; 25% : 75% na oitava semana. Foi necessária a diluição por duas razões: primeiro porque as plantas foram colhidas em locais a céu aberto, expostas ao regime de chuvas, e segundo as mudas de estaca foram preparadas com água da rede de abastecimento público. .

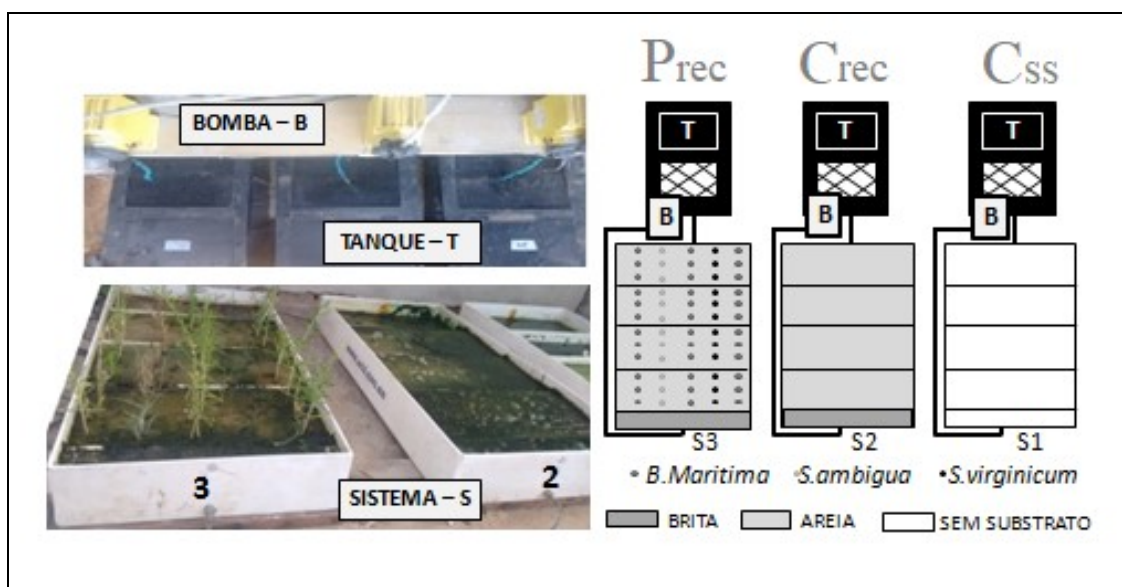
O primeiro compartimento dos sistemas foi preenchido com brita nº 0 de

granulometria 4,8 mm a 9,5 mm, para retenção de partículas. O substrato dos compartimentos seguintes foi areia média comercial de granulometria entre 0,42 mm – 2,00 mm.

Nos sistemas um ( $P_{rio}$ ) e dois (P) foram plantadas trinta mudas de *Batis maritima* nos compartimentos dois e três e sessenta mudas de *Sporobolus virginicus* nos dois últimos. Na quarta semana depois de iniciado o experimento como nenhuma muda de *Sporobolus virginicus* sobreviveu, foram plantas no lugar 30 mudas de *Batis maritima*. As plantas foram cultivadas durante 111 dias, mas os sistemas começaram a funcionar antes do plantio das mudas, totalizando 128 dias.

O Experimento 2 foi realizado com as *wetlands*/sistemas de fibras de vidro com recirculação de água em tanques – T (capacidade 61 litros) povoados com 15 camarões (Figura 2). A água do tanque – T era aplicada ao sistema – S, com vazão de 12 ml.min<sup>-1</sup> por bomba dosadora – B, retornando ao tanque por gravidade.

Figura 2 – Esquema do segundo experimento. Sistemas: S1 – controle sem plantas e sem substrato ( $C_{ss}$ ); S2 – controle sem plantas e com substrato ( $C_{rec}$ ); S3 – com plantas e com substrato ( $P_{rec}$ ).



Fonte: imagem e esquema elaborados pela autora.

O primeiro sistema ( $C_{ss}$ ) estava vazio, passando livremente a água residuária e servindo como controle para o elemento substrato presente nos outros sistemas. O sistema dois ( $C_{rec}$ ) e três ( $P_{rec}$ ) foi preenchido com brita nº 0 no primeiro compartimento e areia média comercial nos compartimentos seguintes. No terceiro sistema com plantas ( $P_{rec}$ ) foram cultivadas, em fileiras alternadas, mudas de *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* e



*Sporobolus virginicum*. Foram dispostas cinco fileiras, com 12 plantas em cada uma, sendo plantadas na primeira, terceira e quinta fileiras a *Batis maritima*, totalizando 36 plantas dessa espécie.

### **II.2.2 Determinação das variáveis físico-químicas das águas**

Os parâmetros: temperatura, sólidos totais dissolvidos (TDS), salinidade, pH e oxigênio dissolvido foram medidos com o aparelho HI98194 Multiparâmetro Portátil de pH/EC/DO. No Experimento 1, as medidas foram realizadas na entrada e na saída de cada sistema, uma vez por semana. No Experimento 2, as medidas foram feitas nos tanques, diariamente. Os dados brutos dos dois experimentos encontram-se no suplemento digital, disponível em <http://doi.org/10.6084/m9.figshare.7878179>.

Ortofosfato dissolvido ( $P-PO_4^{3-}$ ) e sólidos suspensos (TSS) foram determinados, uma vez por semana, para o Experimento 1, sendo coletadas amostras nos recipientes antes da entrada (decantador – D) e posterior a saída (receptor – R) de cada sistema. Após as coletas, a determinação de ortofosfato foi realizada com testes Hach-Lange comerciais, utilizando um espectrofotômetro (DR 2800 Spectrophotometer, Hach Company, Loveland, EUA). E os sólidos suspensos também foram medidos com o uso do espectrofotômetro.

Para o Experimento 2, as coletas das amostras foram realizadas nos tanques, quinzenalmente, sendo determinados, além do ortofosfato dissolvido ( $P-PO_4^{3-}$ ) e sólidos suspensos (TSS), amônia não ionizada dissolvida ( $N-NH_3$ ), nitrito dissolvido ( $N-NO_2^-$ ), nitrato dissolvido ( $N-NO_3^-$ ) com testes Hach-Lange comerciais, utilizando o espectrofotômetro (DR 2800 Spectrophotometer, Hach Company, Loveland, EUA).

### **II.2.3 Preparo das mudas, cultivo e coleta de dados**

Estacas de *B. maritima*, *S. ambigua* e *S. virginicus* foram coletadas no CEAC e enraizadas em bandejas, com substrato comercial para mudas, durante quatro semanas. Antes de serem plantadas nos sistemas, as mudas foram pesadas em balança digital com duas casas decimais e suas alturas foram medidas com régua de alumínio, considerando a distância do colo da planta até o ponto de inserção da última folha. Além disso, as Taxas de Crescimento Relativo (TCR) e Absoluto (TCA) foram calculadas para a altura e a massa. As taxas para massa foram calculadas com base na biomassa úmida.

Fórmulas para o cálculo das taxas de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR):

$$TCA = (W2 - W1)/(T2 - T1)$$

$$TCR = (\ln W2 - \ln W1)/(T2 - T1)$$

Em que:

**W1** - altura em centímetros ou massa em gramas no tempo um;

**W2** - altura em centímetros ou massa em gramas no tempo dois;

**T1** - tempo um;

**T2** - tempo dois;

**ln** - logaritmo Neperiano.

No Experimento 1, as plantas foram transplantadas para os sistemas na quarta semana do início do experimento. No Experimento 2, o transplante das mudas foi no início do experimento. Os dados brutos da massa e altura das plantas dos dois experimentos encontram-se no suplemento digital, disponível em <http://doi.org/10.6084/m9.figshare.7878179>.

Semanalmente, a altura de cada planta era medida e os dados registrados. Após o término dos experimentos, as plantas foram pesadas úmidas e secas. A secagem foi realizada em estufa à temperatura de 56°C durante quatro dias.

#### ***II.2.4 Sistema de cultivo dos camarões, coleta de dados e cálculos***

O povoamento dos tanques do Experimento 2 foi com o camarão da espécie *Litopenaeus vannamei*, que foram pesados no início e ao final do experimento. A ração era ofertada duas vezes ao dia, às 8:00 h e às 16:00 h. As sobras de ração eram retiradas das bandejas, contadas e pesadas, no dia seguinte, quando nova porção de ração era oferecida. A ração continha 35% de proteína bruta na base natural (10% de umidade). Na despesca foram contados quantos camarões sobreviveram.

Os dados do desempenho zootécnico foram cálculos para a média inicial e final dos camarões, ganho de peso semanal, taxa de sobrevivência, biomassa final e fator de conversão alimentar. As fórmulas usadas foram as seguintes:

**Peso médio inicial (g)** = biomassa (g) / número inicial de camarões

**Peso médio final (g)** = biomassa (g) / número final de camarões

**Ganho de peso semanal (g.semana<sup>-1</sup>)** = [(peso médio final dos camarões (g) – peso médio inicial (g)) / (dias de cultivo)] \*7

**Taxa de sobrevivência (%)** = (número final de camarões) / (número inicial de camarões)\*100

**Fator de Conversão Alimentar (FCA)** = ração consumida (g) / ganho de biomassa dos camarões (g)

**Biomassa final (g.m<sup>-3</sup>)** = biomassa do número final de camarões (g) / volume do tanque (m<sup>3</sup>)

### ***II.2.5 Análises estatísticas***

A comparação entre os dados das variáveis físico-químicas da entrada e da saída de cada sistema do Experimento 1 foi feita com teste T para amostras pareadas, quando normais e homogêneas. No caso, quando as amostras apresentaram distribuições não normais ou não homogêneas foi aplicado o teste não paramétrico de Wilcoxon. O teste de normalidade adotado foi de Shapiro-Wilk e o Teste F foi usado para medir a homogeneidade entre as amostras.

Os mesmos testes de hipóteses foram utilizados para comparar os dados dos valores dos parâmetros na saída dos sistemas dois e três do Experimento 1, como amostras independentes, e para os parâmetros medidos em cada tanque do Experimento 2.

O teste de Wilcoxon foi aplicado para verificar se havia diferença significativa no crescimento da altura entre as plantas irrigadas com água e aquelas irrigadas com água residual do Experimento 1, depois de testados os pressupostos para normalidade e homogeneidade. Todos os testes de hipótese foram analisados no R-Studio (RStudio, versão 3.2.4, Boston, USA). O valor máximo *p* aceitável para verificação de significância foi de 0,05.

A análise de componentes principais (PCA), que compõem as análises multivariadas de ordenação, foi aplicada para verificar se havia relação entre as variáveis físico-químicas da água/efluente de cada sistema.

## II.3 Resultados

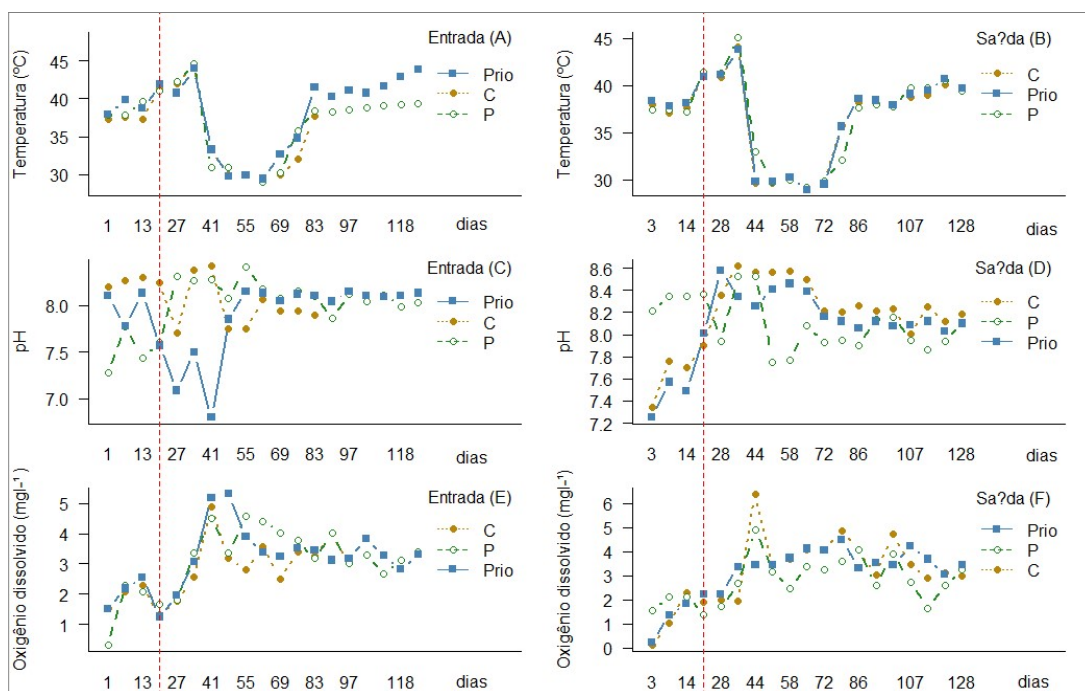
### II.3.1 Variáveis físico-químicas

#### II.3.1.1 Experimento 1

No Experimento 1, em que foram cultivadas plantas com água de efluente de camarão para o sistema dois (P) e controle sem plantas para o sistema três (C), constataram-se diferenças significativas entre a entrada e a saída dos sistemas para salinidade, TDS e ortofosfato. Para os TSS, entre a entrada e a saída dos sistemas, ocorreu diferença significativa apenas no sistema um ( $P_{rio}$ ), com plantas irrigadas com água do rio Pacoti. Salinidade e TDS foram maiores na saída dos sistemas, enquanto o ortofosfato apresentou valor maior na entrada do que na saída dos sistemas dois (P) e três (C).

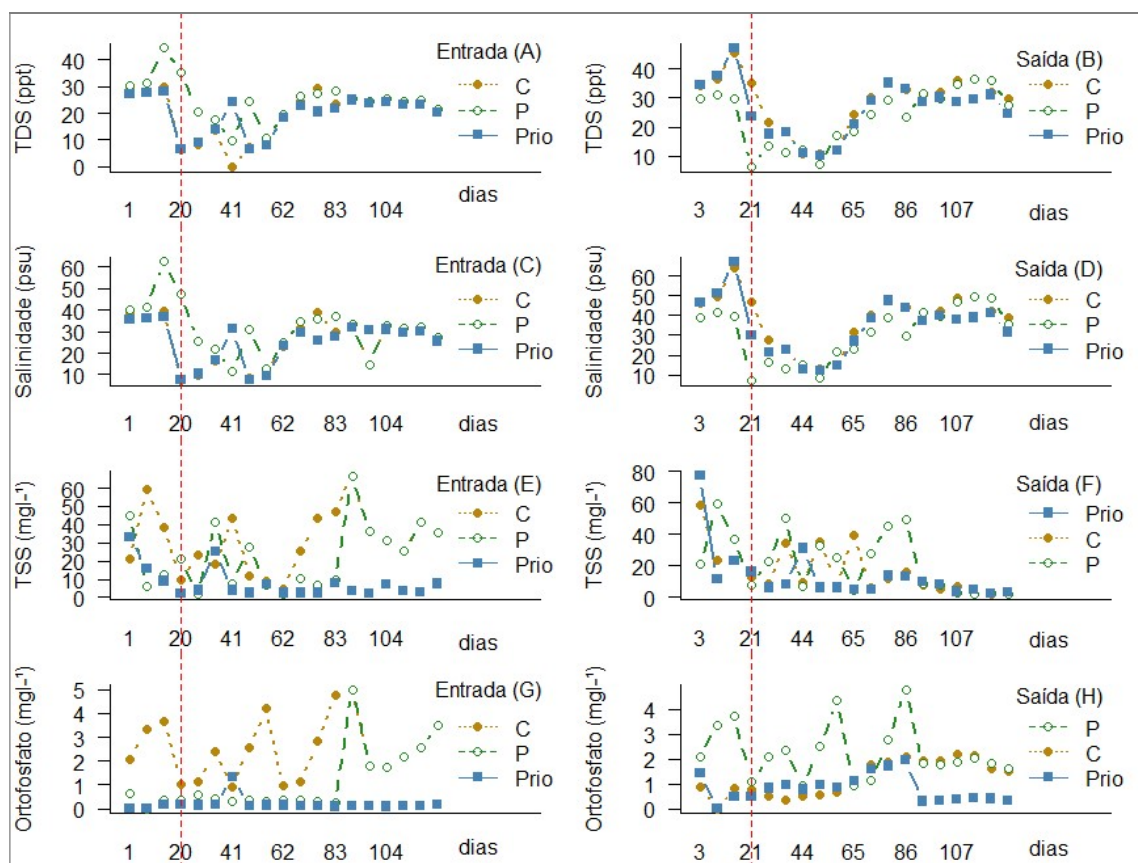
As variáveis físico-químicas da água do rio ( $P_{rio}$ ) e do efluente, em sistemas com plantas (P) e sem plantas (C), antes e após a passagem pelos mesmos, variaram conforme os gráficos 1 e 2. A linha vermelha pontilhada vertical delimita o período antes (à esquerda) e após (à direita) o plantio das mudas de plantas.

Gráfico 1 – Gráfico de linhas das variáveis: temperatura, pH e oxigênio dissolvido da água do Rio e do efluente nos recipientes de entrada e de saída dos sistemas ( $P_{rio}$ , P e C), em 128 dias.



Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 2 – Gráfico de linhas das variáveis: TDS, salinidade, TSS e ortofosfato da água do rio e dos efluentes nos recipientes de entrada e de saída dos sistemas (P<sub>rio</sub>, P e C), durante 128.

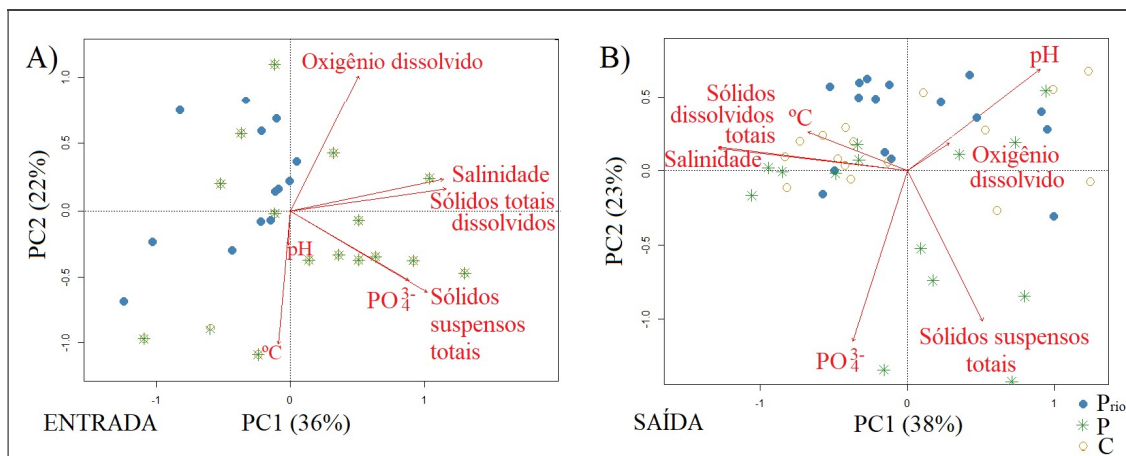


Fonte: elaborado pela autora.

Diferenças de efeito significativo após a passagem pelos sistemas com plantas (P) e controle (C), que receberam efluentes, não foram constatadas.

As amostras do efluente na entrada estavam mais relacionadas positivamente a TSS e ortofosfato (Figura 3A), para o componente principal um da PCA. Enquanto as amostras da água do rio Pacoti estavam negativamente relacionadas a essas variáveis. Salinidade e TDS explicaram negativamente o PC2 em oposição ao oxigênio dissolvido e pH, na saídas dos sistemas (Figura 3B).

Figura 3 – PCA das variáveis físico-químicas da água e do efluente na entrada e na saída dos sistemas um e dois, no período de 111 dias, durante o período que as plantas entraram nos sistemas.



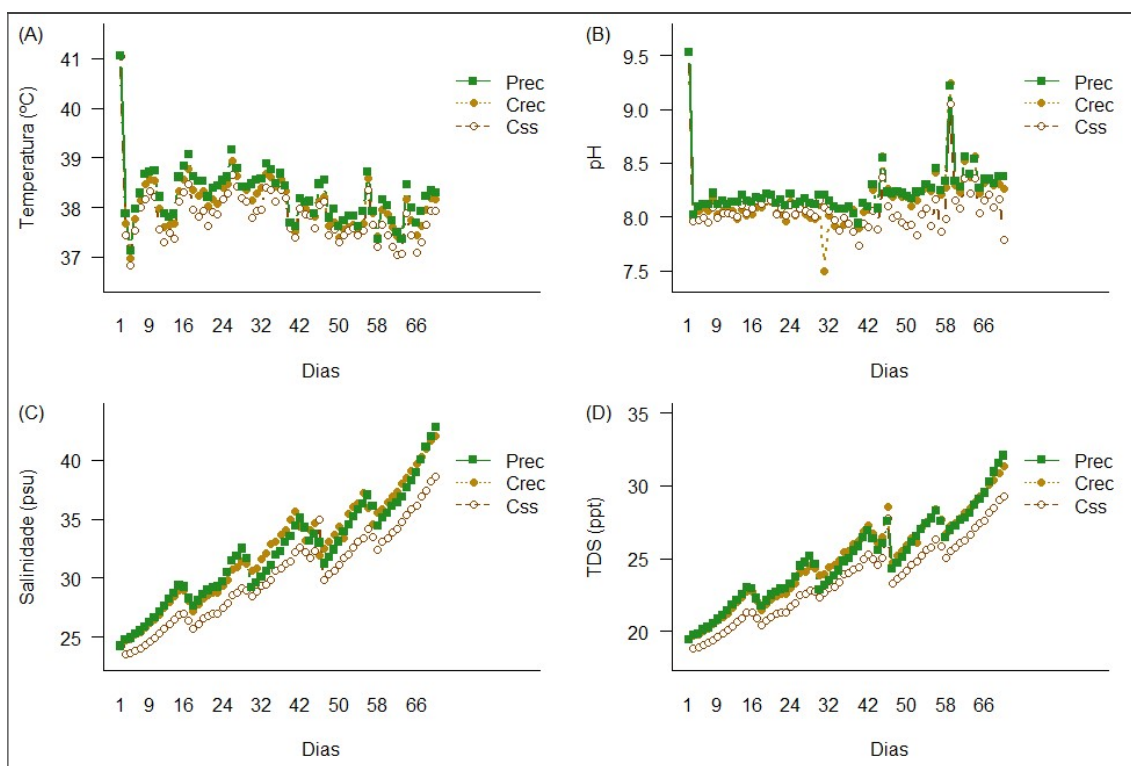
Fonte: elaborado pela autora.

A média da perda de volume de água, durante as dezenove semanas, foi de 9,0 litros, 11,1 litros e 11,2 litros, respectivamente, no primeiro (P<sub>rio</sub>), segundo (P) e terceiro sistema (C).

### II.3.1.2 Experimento 2

No Experimento 2, com recirculação de água da criação de camarão, os dois primeiros sistemas eram controles do sistema com cultivo de plantas (P<sub>rec</sub>), sendo o primeiro sem substrato (C<sub>ss</sub>) e o segundo com substrato (C<sub>rec</sub>). A temperatura (Gráfico 3A) apresentou diferenças significativas entre os sistemas um (C<sub>ss</sub>), dois (C<sub>rec</sub>) e três (P<sub>rec</sub>). Entre os controles, C<sub>ss</sub> – C<sub>rec</sub>, e entre C<sub>ss</sub> – P<sub>rec</sub> houve diferenças significativas para pH (Gráfico 3B), salinidade (Gráfico 3C) e TDS (Gráfico 3D).

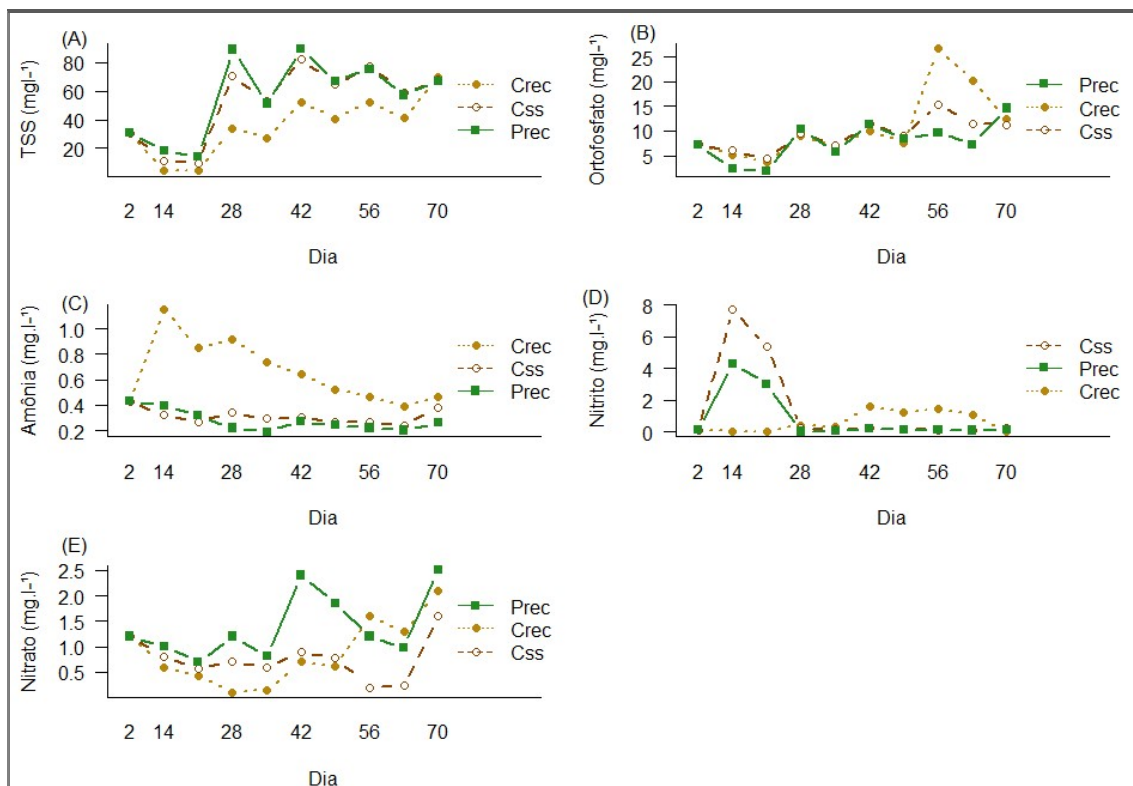
Gráfico 3 – Pontos e linhas diários das variáveis temperatura (A), pH (B), salinidade (C) e TDS (D) da água de recirculação de tanques com camarão durante 70 dias.



Fonte: elaborado pela autora.

Amônia, nitrito e ortofosfato em quase todas as medidas mantiveram-se menor no sistema três ( $P_{rec}$ ), com plantas. As concentrações de TSS (Gráfico 4A) e nitrato (Gráfico 4E) foram maiores no sistema três ( $P_{rec}$ ), seguidos pelo um ( $C_{ss}$ ) e dois ( $C_{rec}$ ). Diferenças significativas foram constatadas para as concentrações de amônia (Gráfico 4C) entre  $C_{ss} - C_{rec}$  e  $C_{rec} - P_{rec}$  (Anexo 1).

Gráfico 4 – Gráfico de linhas mostrando os valores das variáveis obtidas da água de recirculação de tanques com camarão, ao longo de 70 dias: (A) TSS, (B) ortofosfato, (C) amônia, (D) nitrito e (E) nitrato.



Fonte: elaborado pela autora.

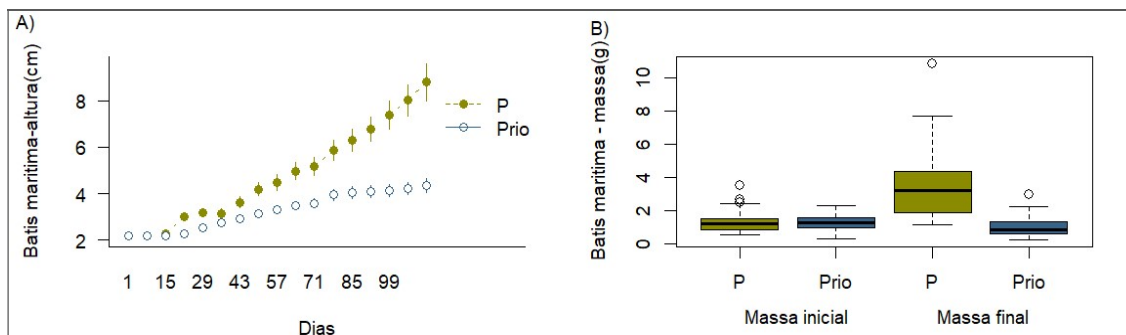
A média quinzenal de evaporação foi de 17,0 litros, 13,8 litros e 19,7 litros, respectivamente, nos tanques controle sem substrato ( $C_{ss}$ ), controle com substrato ( $C_{rec}$ ) e do tratamento com substrato e plantas ( $P_{rec}$ ).

### II.3.2 Produção e taxa de sobrevivência das halófitas

No Experimento 1 as plantas cultivadas com efluente de criação de camarão apresentaram desenvolvimento maior do que as cultivadas com água do rio Pacoti. O crescimento em altura (Gráfico 5A) apresentou efeito estatisticamente significativo para interação dos tratamentos e semanas. Para a massa, mensurada em gramas, das plantas submetidas aos distintos tratamentos, houve diferenças significativas apenas para a massa final (Gráfico 5B).



Gráfico 5 – Desenvolvimento de halófitas da espécie *Batis maritima* cultivadas com água do rio ( $P_{rio}$ ) e efluente (P) do Experimento 1: linhas representando a altura da média e erro padrão (A), e boxplot com medianas, quartis e outliers para massa inicial e final (B).

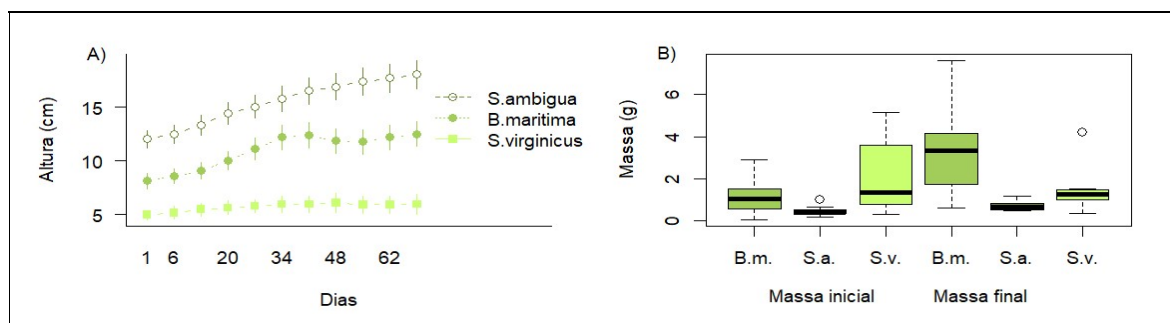


Fonte: elaborado pela autora.

A soma da massa final das partes aéreas (caule e folhas) secas de todas as amostras de plantas da espécie *Batis maritima* cultivadas com água do Rio ( $P_{rio}$ ) foi de 4,8 gramas e as cultivadas com efluente (P) foi 18,4 gramas. Nas plantas cultivadas com água do rio houve perda de biomassa. Os dados individuais do crescimento em altura (Anexo 2 e 3) e massa (Anexo 4) de cada planta encontram-se em anexo.

No Experimento 2, o ganho de biomassa úmida para a espécie *Batis maritima* foi de 72,9 g, para *Sarcocornia ambigua* foi de 2,9 g e para *Sporobolus virginicus* as plantas que restaram estavam secas. As amostras das espécies *Batis maritima* e *Sarcocornia ambigua* obtiveram maior crescimento em altura (Gráfico 6A) e para biomassa a espécie *Batis maritima* apresentou maior ganho de biomassa (Gráfico 6B).

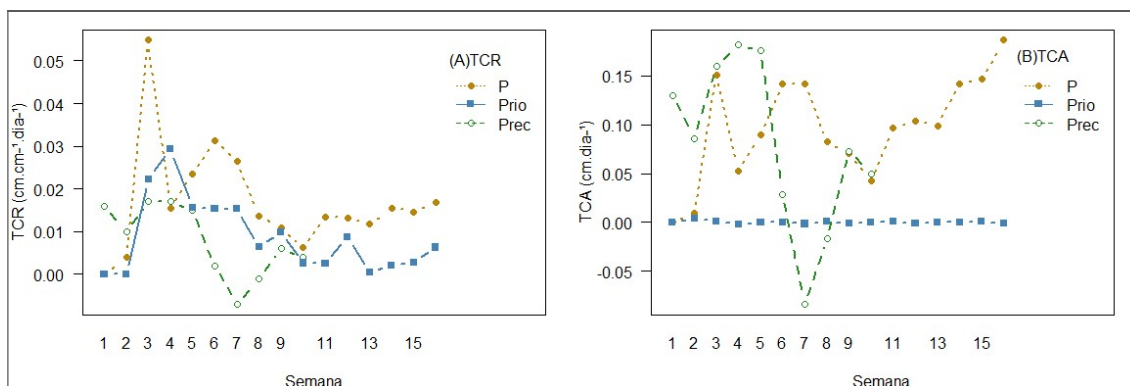
Gráfico 6 – Crescimento em altura com média e erro padrão ao longo de 70 dias (A), e boxplot de medianas, quartis e outliers da massa inicial e final (B), das espécies *B. maritima* (B.m.), *S. ambigua* (S.a.) e *S. virginicus* (S.v.), do Experimento 2.



Fonte: elaborado pela autora.

As Taxas de Crescimento Relativo (TCR) e de Crescimento Absoluto (TCA) para a altura da espécie *Batis maritima* apresentaram resultados mais favoráveis para as que foram irrigadas com efluente nos experimentos 1 e 2 (Gráfico 7).

Gráfico 7: Taxas de Crescimento Relativo (TCR) e Absoluto (TCA), referentes à altura de *Batis maritima*, dos experimentos 1 e 2.



Fonte: elaborado pela autora.

A sobrevivência das mudas de *Batis maritima* para os sistemas um ( $P_{rio}$ ) e dois (P) do primeiro experimento, foi de 73,3% e 90%, respectivamente. De sessenta mudas da espécie *Sporobolus virginicus* do sistema um ( $P_{rio}$ ) restaram apenas sete e do sistema dois (P), três mudas, que estavam secando e foram substituídas pela *Batis maritima*.

No Experimento 2, as taxas de sobrevivência da *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* e *Sporobolus virginicus* foram, respectivamente, 91,7%, 100,0% e 0,0%. As mudas de *S. virginicus* que restaram estavam com as folhas secas, embora o sistema radicular estivesse bem desenvolvido.

A tabela 1 apresenta os dados para desempenho produtivo das plantas cultivadas nos dois experimentos e as taxas de sobrevivência. A *Sporobolus virginicus*, ao final dos experimentos, estavam com a parte aérea totalmente seca, não sendo consideradas vivas.

Tabela 1 – Taxa de Crescimento Relativo (TCR) e Taxa de Crescimento Absoluto (TCA), produção e sobrevivência das mudas das espécies *Batis maritima* e *Sarcocornia ambigua* cultivadas nos experimentos 1 e 2.

Dados de produtividade	<i>Batis maritima</i>		<i>Sarcocornia ambigua</i>	
	P <sub>rio</sub>	P	P <sub>rec</sub>	P <sub>rec</sub>
TCR (g.g <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> )	-0,001	0,001	0,008	0,002
TCR (g. d <sup>-1</sup> )	-0,001	0,028	0,022	0,001
Biomassa inicial (g)	27,69	35,48	38,2	5,77
Biomassa final (g)	24,98	119,24	110,97	8,45
Ganho de Biomassa Total (g)	-	83,76	72,77	2,88
Área de cultivo (m <sup>2</sup> )	0,37	0,37	0,22	0,07
Produtividade (g.m <sup>2</sup> )	-	254,86	331,35	41,43
Quantidade de dias	111	111	70	70
Taxa de Sobrevivência (%)	73,3	90,0	91,70	100,0

Fonte: elaborado pela autora.

### II.3.3 Camarões: desempenho zootécnico e taxa de sobrevivência

A média do peso inicial e final, ganho de biomassa, biomassa final e taxa de sobrevivência dos camarões dos sistemas um, dois e três, do Experimento 2 estão expressos na Tabela 2.

Tabela 2: - Índice de produção do *Litopenaeus vannamei*, criado em densidade de 260 camarões por m<sup>3</sup>, ao longo de 70 dias.

Parâmetro	Controle sem	Controle com	Tratamento com
	substrato (C <sub>ss</sub> )	substrato (C <sub>rec</sub> )	plantas (P <sub>rec</sub> )
Peso da média inicial(g)±sd(min-max)	2,8±0,9(0,7-4,2)	4,25±0,3(3,8-4,7)	4,78±0,6(3,9-5,8)
Peso da média final (g) ± sd (min-max)	10,6 ± 1,5(7,2-14,2)	11,7 ± 1,4(9,2-14,8)	9,8 ± 0,8(8,7-11,7)
Ganho de peso semanal (g.semana <sup>-1</sup> )	0,8	0,7	0,5
Biomassa final (g.m <sup>-3</sup> )	3568,6	3235,5	3475,2
Taxa de sobrevivência (%)	100,0	86,7	100,0
Fator de conversão alimentar	1,7	1,8	2,9
Biomassa total final (g)	117,3	88,6	74,9

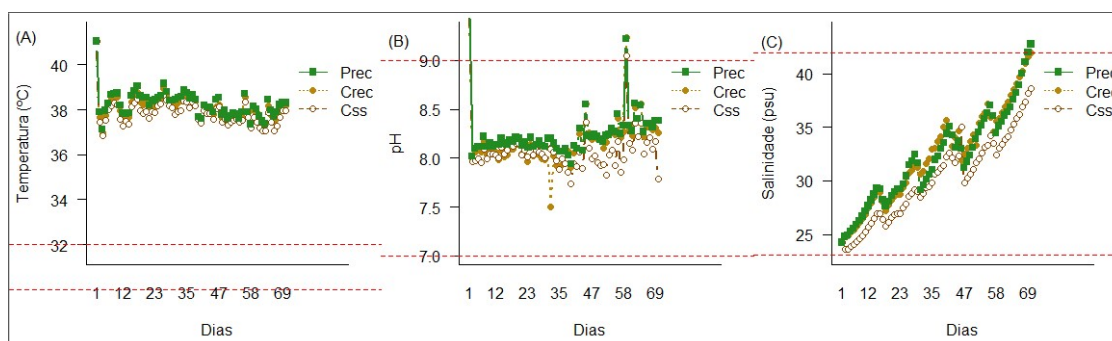
Fonte: Elaborada pela autora.

As faixas de valores de variáveis físico-químicas recomendadas para a criação de camarão, apresentadas nos gráficos 8 e 9, consideraram os seguintes referências: temperatura (ALVES, MELLO, 2007); pH (BOYD, 1984); oxigênio dissolvido (VAN WYK, SCARPA,

1999); salinidade (MORENO *et al.*, 2008); amônia (ALVES, MELLO, 2007); nitrito (BOYD, 1984); nitrato (VAN WYK, SCARPA, 1999); sólidos suspensos totais (KRUMMENAUER *et al.*, 2014); ortofosfato (ALVES, MELLO, 2007).

No Experimento 2 variáveis físico-químicas a temperatura ficou bem acima do recomendado (Gráfico 8A), e para pH e salinidade apresentaram valores dentro do indicado (Gráfico 8B, 8C).

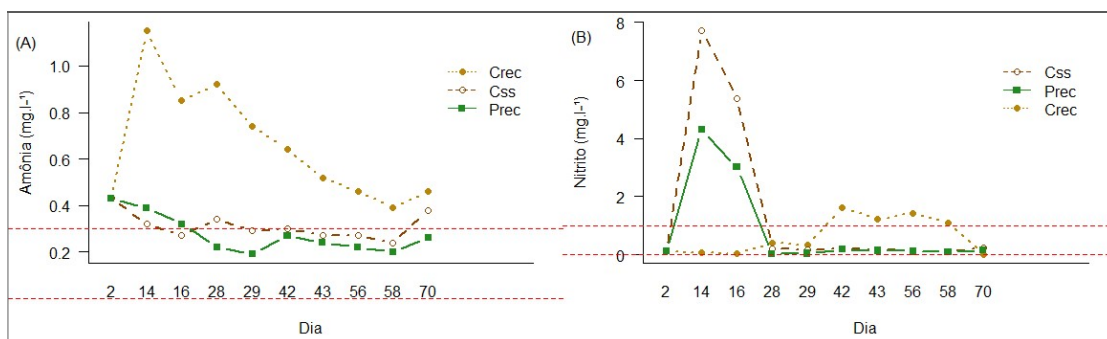
Gráfico 8 – Pontos e linhas da temperatura, pH e salinidade, ao longo de 70 dias, no Experimento 2. As linhas tracejadas em vermelho (----) são os limites, máximo e mínimo, para a faixa recomendável ao cultivo de camarão de cada variável: (A) Temperatura, (B) pH e (C) Salinidade.



Fonte: elaborado pela autora.

Enquanto para amônia (Gráfico 9A) e nitrito (Gráfico 9B) uma quantidade maior de valores foram encontrados fora das faixas recomendadas, principalmente, para o sistema controle (C<sub>ss</sub>) sem substrato.

Gráfico 9 – Pontos e linhas da amônia e nitrito, em 70 dias, no Experimento 2. As linhas tracejadas em vermelho (----) são os limites, máximo e mínimo, para a faixa recomendável ao cultivo de camarão de cada variável: (A) Amônia e (B) Nitrito.



Fonte: elaborado pela autora.

## II.4 Discussão

### II.4.1 Variáveis físico-químicas

Na China, no Instituto de Pesquisa Pesqueira de Xangai (SFRI), num experimento com sistema de recirculação de água de tanque de criação de camarão em *wetland*, os pesquisadores verificaram aumento do pH nas áreas úmidas com cultivo de espécies halófitas e valores menores no ponto de coleta de saída ( $7,9 \pm 0,5$ ) em comparação ao ponto de coleta de entrada ( $8,2 \pm 0,6$ ) da *wetland* (SHI *et al.*, 2011). A diminuição constatada no pH por Shi (*et al.*, 2011) foi relacionada ao processo de nitrificação pela disponibilização de íons de  $H^+$  e, conseqüentemente, redução do pH pelo processo de acidificação.

Segundo Reeder (1994), a decomposição de material orgânico reduz o oxigênio dissolvido e aumenta o  $CO_2$ , induzindo a redução do pH. Nesse caso, para o Experimento 1, mesmo os valores sendo próximos ao reportado por Shi (*et al.*, 2011), não foi constatada diferença significativa entre entrada e saída dos sistemas.

Alguns processos ocasionados pelas plantas podem compensar a variação de alguns parâmetros, tais como a absorção de  $CO_2$  dissolvido através da fotossíntese, aumentando o pH que, por sua vez, é reduzido pela nitrificação (LIN *et al.*, 2003). Além disso, as bactérias oxidadoras de amônia e bactérias oxidantes de nitrito podem ter o metabolismo ativado ou não dependendo dos valores do pH, da temperatura e da concentração de oxigênio dissolvido (ZOPPAS *et al.*, 2016).

No Experimento 2, os parâmetros TSS, nitrito, nitrato e ortofosfato não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos; assim como no experimento utilizando sistema aquapônico com camarão realizado por Pinheiro (*et al.*, 2017).

Silva (2016) testou o crescimento da halófito *Sarcocornia ambigua* exposta a diferentes níveis de estresse hídrico em sistemas de aquaponia com *Litopenaeus vannamei*. No estudo não foram constatadas diferenças significativas para os parâmetros temperatura, oxigênio dissolvido, alcalinidade, pH, TSS e ortofosfato. Embora diferenças significativas tenham sido detectadas, pelo autor previamente citado, referentes a salinidade, amônia, nitrito e nitrato em função das semanas de vigência do experimento.

Nos dois experimentos, os maiores teores de salinidade foram observados nos sistemas em que ocorreu maior evaporação de água. De acordo com Sousa (*et al.*, 2011), o armazenamento de sal ocorre devido a processos de evaporação. Silva (2016) também relacionou o aumento de salinidade à evaporação da água dos tanques de tratamento.

A evaporação foi maior nos sistemas com cultivo de plantas dos dois experimentos do que nos sistemas sem cultivo de plantas, o que era esperado devido ao processo de evapotranspiração. Evapotranspiração é a combinação de dois fenômenos: a evaporação, que consiste no processo físico de transferência da água presente no solo para a atmosfera, e a transpiração, processo fisiológico em plantas no qual a água sai através dos estômatos das folhas para o meio ambiente (RAJI *et al.*, 2015).

Em relação ao valor médio de ortofosfato na saída dos sistemas dois e três, do Experimento 1, foram muito próximo não havendo diferenças significativas entre os sistemas com plantas e sem. No experimento de Henry-Silva e Camargo (2008), as macrófitas aquáticas *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes* foram eficientes na remoção de nitrogênio, fósforo e turbidez dos efluentes de carcinicultura, sem diferir significativamente entre si quanto à remoção desses nutrientes, apesar da espécie *E. crassipes* ter apresentado maior ganho de biomassa.

No Experimento 2, para a série nitrogenada e ortofosfato foram constatadas diferenças significativas apenas entre controle com substrato ( $C_{rec}$ ) e tratamento experimental ( $P_{rec}$ ) e entre controle sem substrato ( $C_{ss}$ ) e controle com substrato ( $C_{rec}$ ) para amônia. Essa constatação pode ter sido devido as análises químicas para compostos nitrogenados, ortofosfato e TSS terem sido realizadas quinzenalmente com apenas cinco semanas de levantamento de dados, comprometendo, assim, a precisão e detecção das variações desses nutrientes durante o experimento.

Para o caso dos experimentos 1 e 2, fatores que podem interferir nos resultados do tratamento de águas residuárias com plantas em *wetlands*, segundo Henry-Silva e Camargo (2008), sendo: dimensionamento de tanques experimentais, tipos de espécies cultivadas, características da água residuária utilizada e sistema de cultivo (integrado ou não). Todos estes fatores estão interligados e há necessidade de experimentos que possam medir maior quantidade de variáveis físico-químicas com número de amostras e réplicas significativas para possibilitar análises multifatoriais mais consistentes, mas isso requer investimento de recurso financeiro, de tempo e de pessoas, o que não foi possível nos dois primeiros experimentos realizados.

O que foi possível observar é que nem todos os parâmetros do Experimento 2 estavam dentro das faixas recomendadas para o cultivo de camarão, como segue na Tabela 3 (VAN WYK; SCARPA, 1999).

Tabela 3: Parâmetros recomendados de qualidade da água para cultivo de camarão.

<i>Parâmetro</i>	<i>Recomendado</i>	<i>Faixa encontrada</i>
Temperatura (°C)	28,0 – 32,0	37,0 – 41,5
pH	7,0 – 8,3	7,9 – 9,5
Salinidade (ppt)	0,5 – 35,0	23,3 – 42,8
Amônia (mg/l)	≤ 0,03	0,2 – 1,0
Nitrito (mg/l)	≤ 1,0	0,0 – 7,7
Nitrato (mg/l)	≤ 60,0	0,1 – 2,5

Fonte: Adaptado de Van Wyk e Scarpa (1999).

A temperatura foi acima de 36°C em todos os sistemas. O pH mensurado apresentou valor máximo de 9,5 e em outras medições, no decorrer do experimento, valores entre 9,0 e 9,3. Segundo Sá (2012), a medida de pH ideal para criação de camarão é de 7,4 por assemelhar-se ao valor ideal para a atividade enzimática do animal, mas valores na faixa de 6,5 a 9,0 são recomendados para o desenvolvimento do camarão em cultivos. Valores constatados para salinidade estavam acima de 35. A amônia e nitrito alcançaram valores bem acima do indicado, chegando a níveis considerados letais.

#### **II.4.2 Produtividade das halófitas cultivadas**

A taxa de mortalidade das plantas da espécie *Sporobolus virginicus* nos dois experimentos foi praticamente 100% provocando questionamento de quais níveis de salinidade são suportados pela mesma. O estudo realizado para testar o efeito da salinidade sobre a *Sporobolus virginicus* na Universidade do Arizona, USA, demonstrou que as plantas crescidas a 100-150 mmol.l<sup>-1</sup> de NaCl eram, visivelmente, maiores do que as plantas cultivadas a 5 mmol.l<sup>-1</sup>. Além disso, apresentaram ganho de biomassa e aparecimento de perfilhos maior quando cultivadas a níveis de NaCl de 450 mmol.l<sup>-1</sup> ao invés de 5 mmol.l<sup>-1</sup> (BELL; O'LEARY, 2003). O estudo confirmou que a *S. virginicus* é uma halófita verdadeira e apresenta glândulas secretoras de sal em resposta à salinidade.

No Experimento 1, a média das concentrações de NaCl na entrada dos sistemas um e dois foram, respectivamente, 440 mmol.l<sup>-1</sup> e 450 mmol.l<sup>-1</sup>. E na saída, respectivamente, 614 mmol.l<sup>-1</sup> e 650 mmol.l<sup>-1</sup> para os sistemas um e dois. No Experimento 2, para a média do valores encontrados, ou seja, 549 mmol.l<sup>-1</sup>, foi maior do que o reportado no estudo, sendo o que mais diferiu nos experimentos 1 e 2 do estudo de Bell e O'Leary (2003) foi a forma de preparo das mudas por sementes.

As plantas da espécie *Batis maritima* cultivadas com efluente obtiveram maior crescimento e ganho de biomassa, sendo explicado pela maior concentração de sólidos e ortofosfato no efluente da criação de camarão do que na água do Rio. Em sistemas de aquicultura intensivos com peixes ou camarões resíduos da ração, matéria orgânica e nitrogênio inorgânico tóxico rapidamente são acumulados no meio (AVNIMELECH, 2006; PINHEIRO *et al.*, 2017).

O cálculo das medidas de crescimento da altura de *B. maritima* para média, TCA e TCR foi maior nos sistemas com água residuária dos dois experimentos do que no sistema irrigado com água salgada do Rio do Experimento 1. No Experimento 1, o ortofosfato nos sistemas um e dois apresentaram diferença significativa ( $p = 0,001$ ) e os maiores valores constatados na água residuária. No sistema em que as plantas foram irrigadas com água do rio Pacoti foi possível constatar que quase todas as concentrações de ortofosfato estavam abaixo de  $0,3 \text{ mg.l}^{-1}$ . Segundo Buhmann e colaboradores (2015), a concentração de ortofosfato no meio de cultivo que melhor favorece o ganho de biomassa de halófitas é na faixa entre 1,6 e  $3,3 \text{ mg.L}^{-1}$ , já valores abaixo de  $0,3$  comprometem esse ganho.

O pH nos dois sistemas com plantas foi entre 6,8 e 8,5 com apenas uma medida abaixo de 7,5 no sistema tratado com água do Rio. O pH elevado do mar, entre 7,5 e 8,4, reforça o problema de baixa disponibilidade de nutrientes por dificultar a absorção dos mesmos (BUHMANN *et al.*, 2015). O pH considerado ótimo para a cultura de plantas hidropônicas está entre 5,5 e 6,5 por evitar a precipitação de nutrientes importantes (BUHMANN *et al.*, 2015). Não foi o caso na maioria das amostras dos dois experimentos, dos quais os menores valores de pH, em que havia cultivo de plantas, foi maior que 7,2. Embora as plantas dos experimentos não tenham sido cultivadas em hidroponia, em alguns momentos, as raízes ficaram submersas.

A TCR, para altura das plantas *B. maritima*, e as medidas de pH, do Experimento 1, foram plotados num gráfico de dispersão para estimativa da correlação; posteriormente, foi testada a significância da relação para amostras paramétricas. O resultado não apresentou correlação significativa alta ( $p = 0,21$ ). No Experimento 2 não foi possível aplicar os testes de correlação, pois os dados não apresentaram normalidade nem homogeneidade.

Foi constatado diferença significativa ( $p = 0,01$ ), entre as plantas tratadas com água do Rio e as plantas tratadas com água residuária, no Experimento 1. O maior crescimento foi para as plantas tratadas com água residuária. As águas residuárias de carcinicultura aumentam significativamente a clorofila a, o nitrogênio inorgânico e o fósforo na coluna de água (MOLNAR *et al.*, 2013).



A espécie *S. ambigua* apresentou ganho de biomassa reduzido, pois o crescimento limitou-se ao alongamento apenas da haste principal na maioria das plantas. Pinheiro (*et al.*, 2017) obteve resultados melhores de desenvolvimento, mas as bancadas hidropônicas experimentais usadas eram de 50 mm de diâmetro ao invés de 40 mm, tendo mais espaço para o desenvolvimento das raízes responsáveis pela absorção de nutrientes.

Os dados levantados do Experimento 1 demonstraram que as plantas da espécie *B. maritima* irrigadas com água residuária de carcinicultura cresceram mais do que as cultivadas com água do rio Pacoti. Estudos com dimensionamento maior dos sistemas são necessários para verificar se há influência na taxa de sobrevivência da espécie *S. virginicus*.

As águas residuárias do Experimento 2, que recircularam pelas plantas, apresentaram menor quantidade de acúmulo de nutrientes do que na ausência de plantas. Faz-se necessário estudo com mais amostragens para poder compreender melhor as interações dos camarões, das plantas e da água residuária.

#### **II.4.3 Desempenho zootécnico do camarão *Litopenaeus vannamei***

A média final do peso dos camarões e a taxa de sobrevivência estavam próximas das médias encontradas em outros estudos (PINHEIRO, 2015; SILVA, 2016), embora o ganho de biomassa estivesse menor. O peso inicial dos camarões embora tenha sido menor no tanque um ( $C_{ss}$ ), não apresentou diferenças significativas em relação a biomassa final dos camarões dos outros tanques ( $C_{rec}$  e  $P_{rec}$ )

O ganho de biomassa dos camarões foi mais favorecido pelo sistema de recirculação contínua da água residuária sem a presença de substrato ( $C_{ss}$ ) do que com substrato ( $C_{rec}$ ) e substrato+plantas ( $P_{rec}$ ), embora não tenha sido testado o uso de plantas sem substrato e seu efeito para o ganho da biomassa dos camarões.

Embora tenha sido constatada variáveis físico-químicas para temperatura, pH, salinidade, amônia e nitrito com valores fora dos padrões recomendados (Tabela 3) para a criação do camarão *Litopenaeus vannamei*, a taxa de sobrevivência dos crustáceos manteve-se alta, acima de 85%, e o desempenho zootécnico dos crustáceos também não foi prejudicado, quando comparado com outros estudos (PINHEIRO, 2015; VENTURA, 2016; SOARES-NETO, 2017). Um dos fatores que podem ter contribuído foi a ocorrência de valores altos de salinidade que promovem redução do potencial de toxicidade do nitrogênio e também favorece a absorção de  $NH_4^+$  pelas halófitas (KUDO, FUJIYAMA, 2010; QUINTÃ *et al.*, 2015).

## II.5 Conclusões

O preparo das mudas e o tipo de cultivo adotado nos experimentos de bancada em sistemas de fibrade vidro não foram adequados para a espécie *Sporobolus virginicus*. Entre as espécies *Batis maritima* e *Sporobolus virginicus* a que se desenvolveu melhor foi a primeira, por ser uma planta mais adaptada ao ambiente. Para o cultivo integrado com camarões a produtividade dos mesmos não foi influenciada pela presença ou ausência das plantas. E, de forma geral, as plantas removeram nitrogênio e fósforo da água.

### Agradecimentos

À ACP Engenharia, ao Depósito Alvorada e ao Depósito Claudio pela doação de materiais que serviram para a montagem dos experimentos, e ao Professor Alberto Nunes por ceder o espaço no CEAC para a realização dos experimentos.

### Referências

ALVES, C. S.; MELLO, G. L. **Manual para monitoramento hidrológico em fazendas de camarão**. Recife: FAEPE/SEBRAE-PE. 2007.

AVNIMELECH, Y. Bio-filters: The need for an new comprehensive approach. **Aquacultural Engineering**, v. 34, p. 172-178, 2006.

BELL, H. L.; O'LEARY, J. W. Effects of salinity on growth and cation accumulation of *Sporobolus virginicus* (Poaceae). **American Journal of Botany**, v. 90, n. 10, p. 1416-1424, 2003.

BERTIN, R. L.; GONZAGA, L. V.; BORGES, G. S. C.; AZEVEDO, M. S.; MALTEZ, H. F.; HELLER, M.; MICKE, G. A.; TAVARES, L. B. B.; FETT, R. Nutrient composition and identification/quantification of major phenolic compounds in *Sarcocornia ambigua* (Amaranthaceae) using HPLC–ESIMS/MS. **Food Research International**, v. 55 p. 404–411, 2014.

BIUDES, José Francisco Vicente. **Uso de wetlands construídas no tratamento de efluentes de carcinicultura**. 2007. 121 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Paulista, Jaboticabal. 2007.

BOYD, Claude E. Water quality management in aquaculture. **Centre of Advanced Studies in Mariculture**, v. 22, p. 1 -44, 1984. Acesso em: 22 de agosto de 2018. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/33013608.pdf>.

BRASKERUD, B. C. Factors affecting nitrogen retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution. **Ecological Engineering**, v. 18, p. 351-370, 2002.

BUHMANN, A.; PAPENBROCK, J. Biofiltering of aquaculture effluents by halophytic plants: Basic principles, current uses and future perspectives. **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, p. 122-133, 2013.

BUHMANN, A. K.; WALLER, U.; WECKER, B.; PAPENBROCK, J. Optimization of culturing conditions and selection of species for the use of halophytes as biofilter for nutrient-rich saline water. **Agricultural Water Management**, v. 149, p. 102-114, 2015.

D'OCA, M. G. M.; MORÓN VILLARREYES, J. A.; LEMÕES, J. S.; COSTA, C. S. B. Fatty acids composition in seeds of the South American glasswort *Sarcocornia ambigua*. **An. Acad. Bras. Ciênc.**, v. 84 (3), p. 865-870, 2012.

FABIANO, R. B. **Conflitos socioambientais e gestão integrada e sustentável de recursos pesqueiros**. 2004. 102 f. Dissertação (Mestrado em Sociologia Política) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2004.

FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. Salinity tolerance of halophytes. **New Phytologist**, v. 179, p. 945-963, 2008.

HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; ALAM, M. M.; BHOWMIK, P. C.; HOSSAIN, M. A.; RAHMAN, M. M.; PRASAD, M. N. V.; OZTURK, M.; FUJITA, M. Potential use of halophytes to remediate saline soils. **Biomed Research International**, v. 2014, p. 12, 2014.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, F. M. Tratamento de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 2, p. 181-188, 2008.

KIVAISI, A. K. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. **Ecological Engineering**, v. 16, p. 545-560, 2001.

KSOURI, R.; KSOURI, W. M.; JALLALI, I.; DEBEZ, A.; MAGNE, C.; HIROKO, I.; ABDELLY, C. Medicinal halophytes: potent source of health promoting biomolecules with medical, nutraceutical and food applications. **Critical Review in Biotechnology**, v. 32, p. 289-326, 2012.

KRUMMENAUER, Dariano; SAMOCHA, Tzachi; POERSCH, Luis; LARA, Gabriele; WASIELESKY, Jr. Wilson. The Reuse of Water on the Culture of Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in BFT System. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 45, n. 1, p. 3-14, 2014.

KUDO, N.; FUJIYAMA, H. Responses of halophyte *Salicornia bigelovii* to different forms of nitrogen source. **Pedosphere**, v. 20, p. 311-317, 2010.

LIETH, H.; SUCRE, M. G.; HERZOG, B. **Mangroves and halophytes: restoration and utilisation**. 1 ed. Amsterdam: Springer Netherlands, 2008. 160 p.

LIN, Y-F.; JING, S-R.; LEE, D-Y. The potential use of constructed wetlands in a recirculating aquaculture system for shrimp culture. **Environmental Pollution**, v. 123, p. 107-113, 2003.

- LONARD, I. R.; JUDD, W. F.; STALTER, R. The Biological Flora of Coastal Dunes and Wetlands: *Batis maritima* C. Linnaeus. **Journal of Coastal Research**, v. 27, n. 6, p. 441 – 449, 2011.
- LONARD, I. R.; JUDD, W. F.; STALTER, R. The Biological Flora of Coastal Dunes and Wetlands: *Distichlis spicata* (C. Linnaeus) E. Greene. **Journal of Coastal Research**, v. 29, n. 1, p. 105 – 117, 2013.
- MARCONE, M. F. *Batis maritima* (Saltwort/Beachwort): a nutritious, halophytic, seed bearings, perennial shrub for cultivation and recovery of otherwise unproductive agricultural land affected by salinity. **Food Research International**, v. 36, p. 123-130, 2003.
- MOLNAR, N.; WELSH, D. T.; MARCHAND, C.; DEBORDE, J.; MEZIANE, T. Impacts of shrimp farm effluent on water quality, benthic metabolism and N-dynamics in a mangrove forest (New Caledonia). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 117, p. 12-21, 2013.
- MORENO, M.; SÁENZ, L.; GONZÁLEZ, H. **Protocolo de Sanidad para el cultivo del camarón blanco en el estado de Baja California**. Mexicali: CESAIBC, 2008.
- PINHEIRO, I. C. **Produção de halófitas *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* em sistema de aquaponia com bioflocos**. 2015. 48 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2015.
- PINHEIRO, Isabela.; ARANTES, Rafael; SANTO, Carlos.; VIEIRA, Felipe; LAPA, Katt; GONZAGA, Luciano; FETT, Roseane; BARCELOS-OLIVEIRA, Jorge; SEIFFERT, Walter. Production of the halophyte *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in an aquaponic system with biofloc technology. **Ecological Engineering**, v. 100, p. 261-267, 2017.
- QADIR, M.; OSTER, J. D.; SCHUBERT, S.; NOBLE, A. D.; SAHRAWAT, K. L. Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. **Advances in Agronomy**, v. 96, p. 197-247, 2007.
- QUINTÃ, R.; SANTOS, R.; THOMAS, D.N.N.; LE VAY, L.; QUINTA, R.; SANTOS, R.; THOMAS, D.N.N.; LE VAY, L. Growth and nitrogen uptake by *Salicornia europaea* and *Aster tripolium* in nutrient conditions typical of aquaculture wastewater. **Chemosphere**, v. 120, p. 414–421, 2015.
- RAJI, B.; TENPIERIK, M. J.; DOBBELSTEEN, A. The impact of greening systems on building energy performance: a literature review. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 610-623, 2015.
- REEDER, B. Assessing constructed wetland functional success using diel changes in dissolved oxygen, pH, and temperature in submerged, emergent, and open-water habitats in the Beaver Creek Wetlands Complex, Kentucky (USA). **Ecological Engineering**, v. 3, p. 161-169, 1994.
- RIBEIRO, L. F.; SOUZA, M. M.; BARROS, F. Desafios da carcinicultura: aspectos legais, impactos ambientais e alternativas mitigadoras. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 14, p. 365-383, 2014.

SÁ, M. V. C. **Limnocultura: Limnologia para Aquicultura**. Fortaleza: Edições UFC, 2012. 218 p.

SHAER, H. M. El. Halophytes and salt-tolerant plants as potential forage for ruminants in the Near East region. **Small Ruminant Research**, v. 91, p. 3-12, 2010.

SHI, Y.; ZHANG, G.; LIU, J.; ZHU, Y.; XU, J. Performance of a constructed wetland in treating brackish wastewater from commercial recirculating and super-intensive shrimp growout systems. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 9416-9424, 2011.

SILVA, H. V. **Efeitos do estresse hídrico na produção de compostos bioativos de *Sarcocornia ambigua* em sistema aquapônico com *Litopenaeus vannamei***. 2016. 59 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2016.

SOARES NETO, Joaquim da Rocha. **Cultivo de *Sarcocornia ambigua* em aquaponia com *Litopenaeus vannamei* em bioflocos com diferentes áreas de bancada hidropônica**. 2017. 47 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis, SC, 2017.

SOTIROUDIS, V.; SOTIROUDIS, T.; KOLISIS, F. The potential of biodiesel production from fatty acid methyl esters of some European/Mediterranean and cosmopolitan Halophyte seed oils. **Journal of ASTM International**, v. 7, n. 3, p. 1-9, 2010.

SOUSA, W. T. Z.; PANITZ, C. M. N.; THOMAZ, S. M. Performance of pilot-scale vertical flow constructed wetlands with and without the emergent macrophyte *Spartina alterniflora* treating mariculture effluent. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 54, p. 405-413, 2011.

VAN OOSTEN, M. J.; MAGGIO, A. Functional biology of halophytes in the phytoremediation of heavy metal contaminated soils. **Environmental and Experimental Botany**, v. 111, p. 135-146, 2015.

VAN WYK, P.; SCARPA, J. Water quality requirements and management. In: VAN WYK, P.; DAVIS-HODGKINS, M.; LARAMORE, R.; MAIN, K. L.; SCARPA, J. (Ed.). Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems. Tallahassee: Florida. **Department of Agriculture and Consumer Services**, 1999, p. 141-162.

VENTURA, Hortência, da Silva. **Efeito do estresse hídrico na produção de compostos bioativos de *Sarcocornia ambigua* em sistema aquapônico com *Litopenaeus vannamei***. 2016. 59 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis, SC, 2016.

ZOPPAS, F. M.; BERNARDES, A. M.; MENEGUZZI, A. Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 29-42, 2016.

**Anexo 1 – Teste de hipótese para amostras independentes do Experimento 2.**

	Sistema um x Sistema dois	Sistema um x Sistema três	Sistema dois x Sistema três
Temperatura	0,00113 (**)	2,843e-07 (**)	0,02005 (**)
pH	5,2e-5 (**)	3,28e-10 (**)	0,00483 (*)
Salinidade	0,005339 (**)	0,004654 (**)	0,9442 (*)
Sólidos Suspensos Totais	0,004901 (**)	0,004193 (**)	0,9398 (*)
Sólidos Suspensos	0,1271 (*)	0,7886 (*)	0,07805 (*)
Amônia	0,0002762 (**)	0,1193 (*)	0,0003231 (**)
Nitrito	0,375 (*)	0,1986 (*)	0,7054 (*)
Nitrato	0,6272 (*)	0,01363 (*)	0,1027 (*)
Ortofosfato	0,5229 (*)	0,4027 (*)	0,2609 (*)

(\*): Não apresenta diferença significativa; (\*\*) Apresenta diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

**Anexo 2** – Tabela do crescimento em altura (cm) das plantas *Batis maritima* cultivadas com água do Rio Pacoti (Sistema 1 - P<sub>rio</sub>).

Tratamento - P <sub>rio</sub>	DIAS																
	1	8	15	22	29	36	43	50	57	64	71	78	85	92	99	106	112
Planta B1	2.5	2.5	2.5	3.0	3.5	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	6.5	6.5	6.5
Planta B2	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	4.0	4.0	4.0	4.3	4.5
Planta B3	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	3.5	3.8	4.0	4.5	4.5	4.5	5.0	5.0	5.2	5.2	5.5
Planta B4	1.5	1.5	1.5	2.0	2.5	2.5	3.0	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	4.2
Planta B5	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.5	4.8	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.5
Planta B6	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.2	3.2	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3
Planta B7	3.0	3.0	3.0	3.5	4.0	4.0	4.5	4.5	4.8	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5	5.5	6.0	6.4
Planta B8	1.5	1.5	1.0	2.0	2.5	2.6	3.0	3.0	3.0	3.2	3.3	3.3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6
Planta B9	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	2.0	2.0	2.0	2.0	2
Planta B10	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.8	3.0	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.5
Planta B11	2.5	2.5	2.5	3.0	3.5	3.6	4.0	4.5	4.5	5.0	5.0	5.0	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B12	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.7	2.5	2.7	2.8	3.5	3.5	3.7	4.0	4.0	4.0	4.2	4.2
Planta B13	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.8	3.5	3.5	3.7	4.0	4.0	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.7
Planta B14	2.5	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	4.5	4.5	4.5	5.0	5.0	5.3	5.5	5.8	6.0	6.0	6.5
Planta B15	3.0	3.0	3.0	4.0	4.5	5.0	6.0	6.4	6.5	7.0	7.0	7.0	7.5	7.5	7.5	7.8	8.1
Planta B16	2.5	2.5	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	5.0	5.0	5.4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B17	2.5	2.5	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	4.5	5.0	5.2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B18	2.0	2.0	2.0	1.5	2.5	3.0	3.5	3.5	4.0	4.2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B19	1.5	1.5	1.0	3.5	3.5	4.3	4.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Planta B20	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5	3.5	3.5	3.6	4.0	4.0	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Planta B21	3.0	3.0	3.0	3.5	4.5	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B22	1.5	1.5	1.5	3.0	3.0	3.2	3.5	3.5	3.5	4.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B23	3.5	3.5	3.5	3.5	4.5	4.5	5.0	5.0	5.2	5.3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B24	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.2	2.2
Planta B25	3.0	3.0	3.5	2.5	3.5	4.0	4.0	4.5	5.0	5.2	5.4	5.4	5.5	5.5	5.5	5.6	5.7
Planta B26	2.5	2.5	2.5	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5	4.5	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	5.0	5.0	5
Planta B27	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	3.0	3.0	3.2	3.5	3.8	4.0	4.0	4.5	4.5	4.5	4.6	5
Planta B28	2.5	2.5	2.5	2.0	2.5	3.2	3.5	3.5	4.0	4.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B29	1.5	1.5	1.0	1.0	1.5	1.7	1.7	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Planta B30	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.5	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	6.2	6.2	6.2	6.2	6.6
Planta B31	NA	NA	NA	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Planta B32	NA	NA	NA	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	3.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4
Planta B33	NA	NA	NA	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B34	NA	NA	NA	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B35	NA	NA	NA	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5
Planta B36	NA	NA	NA	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	3
Planta B37	NA	NA	NA	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.7	3.0	3.0	3.0	3.2	3.2	3.2	3.5	3.5
Planta B38	NA	NA	NA	2.0	2.0	1.5	1.5	2.0	2.0	2.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B39	NA	NA	NA	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.5	2.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B40	NA	NA	NA	2.0	2.0	2.0	2.5	3.0	3.3	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Planta B41	NA	NA	NA	3.0	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	3.5	3.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B42	NA	NA	NA	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.5	2.8	2.8	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Planta B43	NA	NA	NA	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.0	3.2	3.2	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B44	NA	NA	NA	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.2	2.5	2.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B45	NA	NA	NA	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.6	1.7	2.0	2.2	2.2
Planta B46	NA	NA	NA	4.0	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B47	NA	NA	NA	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B48	NA	NA	NA	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B49	NA	NA	NA	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.2	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B50	NA	NA	NA	0.5	0.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B51	NA	NA	NA	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	3.0	1.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B52	NA	NA	NA	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	3.5	3.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B53	NA	NA	NA	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B54	NA	NA	NA	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	2.5	2.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B55	NA	NA	NA	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B56	NA	NA	NA	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	1.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B57	NA	NA	NA	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B58	NA	NA	NA	1.5	1.5	3.0	3.0	3.0	3.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B59	NA	NA	NA	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.5	4.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B60	NA	NA	NA	2.0	2.0	2.0	2.2	2.2	2.2	1.5	1.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA

**Anexo 3** – Tabela do crescimento em altura (cm) das plantas *Batis maritima* cultivadas com efluente da criação de camarão (Sistema 2 - P).

Tratamento - P	DIAS																
	1	8	15	22	29	36	43	50	57	64	71	78	85	92	99	106	112
Planta B1	2.0	2.0	2.0	3.5	4.5	5.5	7.5	9.0	11.0	11.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B2	3.0	3.0	3.0	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	7.5	8.0	8.4	10.0	11.4	12.5	14.0	16.9	17.8
Planta B3	3.0	3.0	3.0	4.0	4.5	5.2	6.5	8.0	9.2	10.0	11.0	12.0	14.0	16.5	19.0	22.3	27.0
Planta B4	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.5	3.5	4.0	4.0	5.1	5.9	6.9	7.8	8.2	9.5	10.5	11.7
Planta B5	1.5	1.5	1.5	3.0	3.5	3.7	4.5	4.5	4.5	5.1	5.5	6.0	6.0	6.2	6.6	7.0	
Planta B6	0.5	0.5	1.0	2.0	3.0	3.7	5.0	5.8	7.0	8.2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B7	2.0	2.0	3.0	3.0	4.0	4.5	5.5	7.1	8.5	8.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B8	1.0	1.0	0.5	1.0	1.5	2.2	2.5	3.0	3.5	3.5	4.5	5.0	5.3	6.0	6.6	7.3	8.0
Planta B9	3.0	3.0	3.0	3.5	4.5	5.0	5.5	6.5	7.3	7.5	8.0	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	14.0
Planta B10	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.5	7.1	7.5	8.1	9.0	9.5	10.5	11.2	12.5	13.0
Planta B11	2.0	2.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.5	9.0	10.5	11.5	10.0	10.0	10.4	10.5	12.5	13.0	15.5
Planta B12	0.5	0.5	1.5	3.0	3.0	3.2	3.5	4.5	5.0	5.6	6.0	6.0	6.6	7.5	8.0	9.0	9.5
Planta B13	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	4.0	5.5	6.5	7.5	8.1	5.0	4.5	5.0	5.0	6.0	6.0	6.4
Planta B14	1.5	1.5	1.5	2.5	3.0	3.5	4.5	5.0	5.6	6.5	7.0	7.7	8.5	9.2	10.5	11.6	13.0
Planta B15	3.0	3.0	3.0	4.5	4.5	5.0	6.5	7.7	8.5	9.0	9.4	9.8	11.5	11.5	12.5	13.0	14.5
Planta B16	2.0	2.0	2.5	3.5	4.0	5.0	6.5	8.0	8.5	8.6	10.0	10.5	11.6	12.0	13.0	14.0	14.5
Planta B17	2.0	2.0	1.0	2.0	2.5	3.0	4.2	5.0	5.5	6.2	6.6	7.5	8.5	9.0	10.0	11.0	11.8
Planta B18	2.0	2.0	2.0	2.5	3.0	3.2	4.0	5.0	5.0	5.7	6.0	6.8	7.5	8.2	8.6	9.3	10.0
Planta B19	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.5	3.2	3.5	3.6	4.0	4.5	5.0	5.6	6.3	7.0	7.6	8.0
Planta B20	2.5	2.5	2.5	3.5	4.0	4.5	5.0	5.7	6.0	6.6	7.0	7.3	7.5	7.7	9.0	10.0	11.0
Planta B21	3.0	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	6.0	6.5	7.0	7.4	7.5	8.0	9.0	9.4	10.0
Planta B22	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	4.0	4.5	5.5	6.0	6.3	6.8	7.3	7.5	8.5	9.5	10.0	10.5
Planta B23	2.0	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	6.0	6.7	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
Planta B24	2.5	2.5	2.5	3.5	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	5.6	5.5	6.5	7.0	7.5	8.0	8.7	9.2
Planta B25	5.0	5.0	5.0	6.0	6.0	6.5	7.0	7.5	7.7	7.7	8.0	8.4	8.7	9.0	9.2	10.2	10.4
Planta B26	3.0	3.0	2.5	4.5	4.5	4.5	6.0	7.0	7.5	8.0	8.5	9.3	9.4	10.0	10.5	10.5	11.0
Planta B27	2.5	2.5	3.5	3.0	3.0	3.5	4.5	5.0	5.5	5.8	6.0	6.5	6.5	7.0	7.5	8.0	8.6
Planta B28	2.5	2.5	2.5	3.0	3.5	4.5	5.0	5.7	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.7	9.1	10.3	16.8
Planta B29	2.5	2.5	2.5	3.5	3.5	3.5	4.5	5.0	5.5	5.5	5.5	5.8	6.0	6.2	6.5	7.0	7.4
Planta B30	2.5	2.5	2.5	3.5	3.5	4.0	4.5	5.2	5.2	5.3	5.3	5.5	5.7	6.0	6.1	6.5	6.8
Planta B31	NA	NA	NA	3.0	3.0	3.5	3.5	3.5	4.0	4.3	4.5	5.0	5.1	5.2	5.6	6.0	6.5
Planta B32	NA	NA	NA	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	3.0	3.0	3.1	3.7
Planta B33	NA	NA	NA	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.8	2.0	2.2	2.2	2.5	2.8	3.0	3.1
Planta B34	NA	NA	NA	3.0	3.0	3.0	3.0	3.2	3.2	3.3	3.5	3.6	3.6	4.3	4.5	4.5	5.0
Planta B35	NA	NA	NA	2.5	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	3.5	4.0	4.2	4.6	4.8
Planta B36	NA	NA	NA	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.2	2.2	2.3	2.3	2.5	2.5
Planta B37	NA	NA	NA	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.7	2.8	3.0
Planta B38	NA	NA	NA	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.8	2.8
Planta B39	NA	NA	NA	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	2.2	2.2	2.5	2.5	3.0	3.0
Planta B40	NA	NA	NA	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.8	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0
Planta B41	NA	NA	NA	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.2	2.2	2.2	2.7	2.7	3.0	3.0	3.0	3.2
Planta B42	NA	NA	NA	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	2.6	3.0	3.0	3.1	3.3
Planta B43	NA	NA	NA	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	3.6	4.0	4.2	4.2	4.6	4.7
Planta B44	NA	NA	NA	2.0	2.0	2.0	2.2	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	3.6	4.0	4.0	4.4	4.4
Planta B45	NA	NA	NA	2.5	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.2	3.4	3.5	3.7	3.9	3.9
Planta B46	NA	NA	NA	4.5	4.5	2.0	2.0	2.0	2.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B47	NA	NA	NA	5.0	5.0	2.5	2.5	2.0	2.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B48	NA	NA	NA	4.0	4.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B49	NA	NA	NA	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.7	1.7	1.7	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B50	NA	NA	NA	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.7	3.0	3.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B51	NA	NA	NA	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B52	NA	NA	NA	4.0	4.0	2.5	2.5	2.5	1.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B53	NA	NA	NA	3.0	3.0	3.2	3.5	3.5	3.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B54	NA	NA	NA	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B55	NA	NA	NA	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	2.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B56	NA	NA	NA	4.0	4.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B57	NA	NA	NA	5.0	5.0	1.0	1.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B58	NA	NA	NA	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.2	6.5	6.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B59	NA	NA	NA	6.0	6.0	3.5	3.5	3.5	1.5	1.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Planta B60	NA	NA	NA	4.0	4.0	3.5	3.5	3.5	1.5	1.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA



**Anexo 4** – Tabela da massa (g) das plantas *Batis maritima* (B) cultivadas com água do Rio Pacoti (Sistema 1 - P<sub>rio</sub>) e efluente da criação de camarão (Sistema 2 - P).

Planta	Tratamento	Dia	Massa	Dia	Massa	Tratamento	Dia	Massa	Dia	Massa
B1	P <sub>rio</sub>	1	1.31	112	2.19	P	1	1.48	112	NA
B2	P <sub>rio</sub>	1	1.70	112	1.20	P	1	0.72	112	6.59
B3	P <sub>rio</sub>	1	1.85	112	1.81	P	1	2.04	112	10.88
B4	P <sub>rio</sub>	1	1.15	112	0.34	P	1	1.30	112	3.88
B5	P <sub>rio</sub>	1	1.76	112	0.75	P	1	0.98	112	3.08
B6	P <sub>rio</sub>	1	0.79	112	0.36	P	1	0.61	112	NA
B7	P <sub>rio</sub>	1	1.70	112	1.40	P	1	1.53	112	NA
B8	P <sub>rio</sub>	1	0.58	112	0.60	P	1	0.60	112	2.39
B9	P <sub>rio</sub>	1	0.65	112	0.23	P	1	1.15	112	4.98
B10	P <sub>rio</sub>	1	1.01	112	0.50	P	1	2.02	112	5.36
B11	P <sub>rio</sub>	1	0.81	112	NA	P	1	1.37	112	7.69
B12	P <sub>rio</sub>	1	0.71	112	0.95	P	1	0.49	112	3.85
B13	P <sub>rio</sub>	1	0.26	112	1.28	P	1	1.33	112	1.97
B14	P <sub>rio</sub>	1	1.99	112	2.06	P	1	1.23	112	4.98
B15	P <sub>rio</sub>	1	2.00	112	2.96	P	1	1.47	112	6.92
B16	P <sub>rio</sub>	1	1.55	112	NA	P	1	1.30	112	4.75
B17	P <sub>rio</sub>	1	1.52	112	NA	P	1	0.81	112	4.49
B18	P <sub>rio</sub>	1	1.05	112	NA	P	1	1.61	112	3.83
B19	P <sub>rio</sub>	1	0.75	112	1.81	P	1	1.50	112	2.79
B20	P <sub>rio</sub>	1	1.01	112	1.31	P	1	0.63	112	3.70
B21	P <sub>rio</sub>	1	1.63	112	NA	P	1	1.26	112	3.34
B22	P <sub>rio</sub>	1	0.47	112	NA	P	1	1.14	112	4.32
B23	P <sub>rio</sub>	1	1.64	112	NA	P	1	1.22	112	4.08
B24	P <sub>rio</sub>	1	1.15	112	0.34	P	1	1.78	112	3.77
B25	P <sub>rio</sub>	1	1.59	112	1.74	P	1	2.38	112	4.40
B26	P <sub>rio</sub>	1	1.24	112	1.22	P	1	1.68	112	4.04
B27	P <sub>rio</sub>	1	1.23	112	1.03	P	1	1.48	112	3.18
B28	P <sub>rio</sub>	1	1.02	112	NA	P	1	1.42	112	4.12
B29	P <sub>rio</sub>	1	1.76	112	0.32	P	1	1.02	112	3.04
B30	P <sub>rio</sub>	1	1.50	112	0.58	P	1	1.55	112	2.82
B31	P <sub>rio</sub>	1	0.92	112	0.81	P	1	1.66	112	3.19
B32	P <sub>rio</sub>	1	1.55	112	1.07	P	1	0.76	112	1.70
B33	P <sub>rio</sub>	1	0.67	112	NA	P	1	1.01	112	1.86
B34	P <sub>rio</sub>	1	1.40	112	NA	P	1	0.97	112	1.85
B35	P <sub>rio</sub>	1	1.46	112	0.61	P	1	1.10	112	1.75
B36	P <sub>rio</sub>	1	0.72	112	0.56	P	1	1.26	112	1.12
B37	P <sub>rio</sub>	1	1.48	112	0.79	P	1	0.99	112	1.71
B38	P <sub>rio</sub>	1	0.64	112	NA	P	1	0.82	112	1.79
B39	P <sub>rio</sub>	1	2.23	112	NA	P	1	0.79	112	1.51
B40	P <sub>rio</sub>	1	1.15	112	0.57	P	1	0.89	112	1.32
B41	P <sub>rio</sub>	1	1.19	112	NA	P	1	0.85	112	1.23
B42	P <sub>rio</sub>	1	1.48	112	0.69	P	1	1.20	112	1.63
B43	P <sub>rio</sub>	1	1.03	112	NA	P	1	1.15	112	2.20
B44	P <sub>rio</sub>	1	1.15	112	NA	P	1	1.66	112	2.02
B45	P <sub>rio</sub>	1	0.91	112	0.72	P	1	1.38	112	2.15
B46	P <sub>rio</sub>	1	1.52	112	NA	P	1	0.99	112	NA
B47	P <sub>rio</sub>	1	1.50	112	NA	P	1	1.00	112	NA
B48	P <sub>rio</sub>	1	1.49	112	NA	P	1	1.16	112	NA
B49	P <sub>rio</sub>	1	1.70	112	NA	P	1	1.24	112	NA
B50	P <sub>rio</sub>	1	1.08	112	NA	P	1	2.48	112	NA
B51	P <sub>rio</sub>	1	0.71	112	NA	P	1	0.65	112	NA
B52	P <sub>rio</sub>	1	0.98	112	NA	P	1	0.82	112	NA
B53	P <sub>rio</sub>	1	1.36	112	NA	P	1	0.73	112	NA
B54	P <sub>rio</sub>	1	1.09	112	NA	P	1	1.14	112	NA
B55	P <sub>rio</sub>	1	1.23	112	NA	P	1	2.62	112	NA
B56	P <sub>rio</sub>	1	0.65	112	NA	P	1	0.77	112	NA
B57	P <sub>rio</sub>	1	0.68	112	NA	P	1	0.79	112	NA
B58	P <sub>rio</sub>	1	1.33	112	NA	P	1	3.49	112	NA
B59	P <sub>rio</sub>	1	2.28	112	NA	P	1	1.83	112	NA
B60	P <sub>rio</sub>	1	1.75	112	NA	P	1	0.62	112	NA

### **CAPÍTULO III – AQUAPONIA COM A CRIAÇÃO DO CAMARÃO *Litopenaeus vannamei* E O CULTIVO DAS HALÓFITAS *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* E *Sporobolus virginicus***

#### **Resumo**

A aquaponia é um sistema que integra a aquicultura com a produção de plantas, na qual duas espécies são beneficiadas e há economia de água. Neste estudo, um experimento de bancada foi realizado com um sistema aquapônico para verificar a interação entre o crescimento das halotófitas *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* e *Sporobolus virginicus* associados com o cultivo de camarão branco *Litopenaeus vannamei*. Investigou-se, também, se houve diferentes respostas de variáveis físico-químicas da água nas culturas experimentais de camarão integradas ao cultivo de plantas e do tratamento controle, sem plantas, ao longo de um período de 56 dias. Ambos os tratamentos apresentaram diferença estatisticamente significativa para sólidos totais dissolvidos, salinidade, sólidos suspensos totais, amônia, ortofosfato e nitrito. No tratamento experimental, com a presença de plantas, houve redução de sólidos suspensos totais, amônia e ortofosfato. O índice de produção de camarões, entre os tratamentos, não foi significativamente diferente e o desempenho foi semelhante ao de outros estudos. O ganho de biomassa da halófito *B. maritima* foi de 876,6 gramas em 0,5 m<sup>2</sup> e da *S. ambigua* foi de 48,8 gramas em 0,16 m<sup>2</sup>, sendo a taxa de sobrevivência, respectivamente, 70,0% e 52,50%. Todas as plantas da espécie *S. virginicus* secaram até o final do experimento e a espécie não foi considerada adequada ao nosso modelo de aquaponia.

Palavras-chave: Água residuária. Cultivo integrado. Recirculação de efluente.

#### **III.1 Introdução**

Aquicultura é uma das atividades econômicas com maior desenvolvimento no mundo, constatada taxa de crescimento anual média de 5,8% de 2000 a 2016 (AHMED *et al.*, 2018). No Brasil, especialmente no nordeste, a criação do camarão branco, *Litopenaeus vannamei*, produzido em larga escala, representa importante fonte de renda inclusive para as comunidades rurais mais pobres e pequenos agricultores (MARQUES *et al.*, 2015).

A atividade da aquicultura proporciona ganhos econômicos para produtores e fonte protéica para alimentação da população mundial, mas pode causar impactos ambientais

(JEGATHEESAN *et al.*, 2011) com degradação de sedimentos em torno de fazendas de peixes; efeitos negativos sob plantas marinhas; presença de nutrientes dissolvidos que afetam a biodiversidade em corpos d'água (TSAGARAKI *et al.*, 2011). Além disso, a demanda para produção de ração para aquicultura exerce pressão sobre os estoques de animais aquáticos silvestres (TSAGARAKI *et al.*, 2011). Alguns desses problemas relacionam-se a composição do efluente que apresenta nitrogênio, fósforo, bactérias, clorofila “a” e sólidos em suspensão, oriundos das fezes e da ração não consumida pelos camarões (FERNANDES *et al.*, 2007).

A redução dos danos ambientais pode ser amenizada pelo tratamento dos efluentes que, muitas vezes, não é realizado devido os custos envolvidos. Uma solução possível é o tratamento de efluentes com uso de plantas que tenham capacidade de biorremediação e sejam comercializáveis ao final do cultivo (PINHEIRO *et al.*, 2017).

Modelos de produção sustentável de alimentos que integram cultivo de plantas e criação de animais aquáticos podem ser consorciados por meio de sistemas aquaponicos (DIVER, 2006). A aquaponia é considerada um sistema produtivo que otimiza o uso dos recursos hídricos (GODDEK *et al.*, 2018).

Experimento com a halófito *Sarcocornia ambigua* cultivada em sistema de aquaponia com a criação do camarão *Litopenaeus vannamei*, comprovou a remoção do excesso de nitrogênio na água, possibilidade de reuso da mesma e, ainda, resultados promissores para produção de biomassa verde (PINHEIRO *et al.*, 2017).

Halófitas são plantas tolerantes à salinidade. Elas possuem características fisiológicas especiais devido à sua adaptação a ambientes salinos podendo ser aproveitadas para diferentes tipos de aplicações e reversão em benefícios econômicos (BUHMANN, PAPENBROCK, 2013). Podem servir como fonte de nutrientes complementares para animais (SHAER, 2010); alimento funcional e medicinal (RHEE *et al.*, 2009; KSOURRI *et al.*, 2012); disponibilização de matéria prima para produção de sal verde, rico em substâncias depurativas e diuréticas (RAPOSO *et al.*, 2009); produção de biodiesel (ABIDEEN *et al.*, 2012; GUL *et al.*, 2013); entre outros benefícios.

Cultivos produtivos de espécies halófitas, em filtros biológicos, podem ser comprometidos por influência de fatores ambientais (BUHMANN, PAPENBROCK, 2013). A concentração salina e o teor de nutrientes presentes no efluente devem ser condizentes com a capacidade de absorção das raízes de cada espécie, conforme suas características radiculares e fisiológicas (BUHMANN, PAPENBROCK, 2013). O conhecimento da interação entre características físico-químicas do meio com espécies de halófitas e o camarão *Litopenaeus vannamei* pode ser uma solução possível para viabilização econômica sustentável de sistemas

produtivos em aquaponia (CASTILHO-BARRO *et al.*, 2018) e para a segurança alimentar (FAO, 2017).

Dessa forma, a proposta desse estudo foi comparar variáveis físico-químicas da água de tanques de criação do camarão (*Litopenaeus vannamei*) integrado ao cultivo de halófitas, em estruturas de bancada, e de tanques controle, sem o cultivo das plantas, no período de 56 dias. O desempenho zootécnico dos camarões e a produção de biomassa das halófitas, *Batis maritima* e *Sporobolus virginicus*, de ocorrência natural no Ceará, e da espécie endêmica de Santa Catarina, *Sarcocornia ambigua*, também foram avaliados.

## **III.2 Materiais e Métodos**

### ***III.2.1 Cenário experimental***

O experimento foi realizado no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos (LANOA) do Centro de Estudos em Aquicultura Costeira (CEAC) do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará (informações mais detalhadas do local encontram-se no suplemento digital, disponível em <http://doi.org/10.6084/m9.figshare.7878179>).

O início do experimento foi em 26 de setembro e concluiu em 21 de novembro de 2017, com duração de 56 dias, no decorrer de oito semanas.

### ***III.2.2 Desenho experimental e operacionalização***

O desenho experimental (Figura 1) foi planejado com dois tratamentos, controle ( $C_{Aq}$ ) e experimental ( $P_{Aq}$ ), cada um com quatro réplicas em intercalação sistemática (HURLBERT, 1984). Cada tratamento controle ( $C_{Aq}$ ) constituiu-se de tanque de criação de camarão com capacidade máxima de 61 litros de água, bandeja de alimentação e sistema de aeração. Os tratamentos experimentais ( $P_{Aq}$ ) receberam, além dos equipamentos citados, uma estrutura em PVC para o cultivo de plantas, mangueira e bomba submersa. A vazão da bomba foi de  $3 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$  e funcionou ininterruptamente ao longo do experimento.

Figura 1 – Desenho experimental para avaliação da efetividade de halófitas no tratamento de águas residuárias de camarão. Unidades de Tratamento Controle ( $C_{Aq}$ ), sem plantas, e Experimental ( $P_{Aq}$ ), com cultivo das plantas, (A) foto e (B) esquema.



Fonte: imagem e esquema elaborados pela autora.

Cada um dos quatro tanques dos tratamentos, controle ( $C_{Aq}$ ) e experimental ( $P_{Aq}$ ), foram preenchidos com 59 litros de água com bioflocos proveniente dos berçários de criação de pós-larvas (PLs) de *Litopenaeus vannamei* do LANOA. Quando os camarões dos berçários atingiram o peso médio de 1,5 g, os oito tanques foram povoados com 15 indivíduos, cada um, e iniciado o experimento.

Não houve renovação da água nos tanques durante o experimento nem manutenção das taxas C:N para manter o bioflocos, sendo apenas realizada reposição semanal da água perdida. A reposição foi feita sempre às terças-feiras com água proveniente do Rio Pacoti, a que ficou armazenada numa caixa d'água de 1.000 litros. Uma vez por semana o tanque com maior perda de água servia de referência para reposição do mesmo volume em todos os tanques. Para tanto, era retirada a diferença de volume de água dos outros tanques e todos repostos até o volume inicial de 59 litros.

### III.2.3 Água: amostragem e métodos analíticos

Ao longo do experimento, foram monitorados, semanalmente, amônia, nitrito, nitrato, sólidos suspensos e ortofosfato de cada tanque experimental ( $P_{Aq}$ ) e controle ( $C_{Aq}$ ), para avaliar se o experimento era eficiente para a melhoria da qualidade dos efluentes da aquicultura.

As amostras para as análises de ortofosfato dissolvido ( $P-PO_4^{3-}$ ), amônia não ionizada dissolvida ( $N-NH_3$ ), nitrito dissolvido ( $N-NO_2^-$ ), nitrato dissolvido ( $N-NO_3^-$ ) e sólidos suspensos totais (TSS) foram coletadas em cada tanque, toda terça-feira, e determinadas na sala de análises do LANOA com testes Hach-Lange comerciais, utilizando

um espectrofotômetro (DR 2800 Spectrophotometer, Hach Company, Loveland, EUA). Os resultados da série nitrogenada foram mensurados em equivalentes de nitrogênio, ou seja, N-NH<sub>3</sub> para nitrogênio de amônia; N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> para nitrogênio de nitrito, e; N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nitrogênio de nitrato. As análises para cada parâmetro foram realizadas antes e após a reposição semanal de água. Os resultados foram medidos em mg.l<sup>-1</sup>.

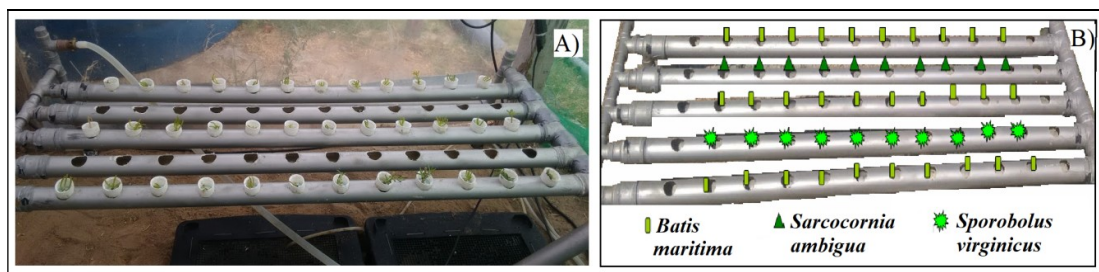
Temperatura, sólidos totais dissolvidos (TDS), salinidade e pH foram medidos nos tanques, diariamente, com o aparelho Multiparâmetro Portátil de pH/EC/DO (HI98194, Hanna). O oxigênio dissolvido foi mensurado com o oxímetro (AT 155, Alfakit). Uma vez na semana as medições com o multiparâmetro e o oxímetro eram realizadas duas vezes ao dia, antes e após a reposição da água.

### III.2.4 Halófitas: cultivo e coleta e tratamento dos dados

Foram selecionadas três espécies de halófitas, *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* e *Sporobolus virginicus*, para o cultivo nas quatro unidades de tratamento experimental. Detalhes da produção e cultivo das mudas estão no suplemento digital, disponível em <http://doi.org/10.6084/m9.figshare.7878179>

As mudas enraizadas em suporte de tampa de plástico de garrafa pet foram encaixadas nas estruturas de cultivo nos sistemas de aquaponia (Figura 2A), dispostas de acordo com a figura 2B. Cada estrutura recebeu 30 mudas de *B. maritima*, 10 mudas de *S. ambigua* e 10 mudas de *S. virginicus*. As raízes das plantas foram submetidas a fluxo contínuo da água de recirculação dos tanques de criação de camarão, denominado filme de nutrientes (Nutrient Film Technique - NFT).

Figura 2 – Estrutura de cultivo das plantas halófitas. (A) Foto do sistema de aquaponia e (B) esquema da mesma estrutura mostrando a distribuição de cada espécie



Fonte: imagem e esquema elaborados pela autora.

A altura da base do caule até a extremidade superior de cada planta foi medida

uma vez por semana. A pesagem das plantas foi realizada no início e ao final do experimento. As Taxas de Crescimento Relativo (TCR) e Absoluto (TCA) foram calculadas para a altura e a massa. As taxas para massa foram calculadas com base na biomassa úmida. Fórmula para o cálculo das taxas de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR):

$TCA = (W2 - W1)/(T2 - T1)$ ; em que: W1 é a altura em centímetros ou massa em gramas no tempo um; W2 é a altura em centímetros ou massa em gramas no tempo dois; T1 é o tempo um; T2 é o tempo dois.

$TCR = (\ln W2 - \ln W1)/(T2 - T1)$ ; em que ln é o logaritmo Neperiano.

### ***III.2.5 Camarões: criação e coleta e tratamento dos dados***

O povoamento dos tanques foi com o camarão da espécie *Litopenaeus vannamei*, os quais foram pesados, individualmente, no início e ao final do experimento. A ração era ofertada duas vezes ao dia, às 8:00 h e às 16:00 h. As sobras de ração eram retiradas das bandejas, contadas e pesadas, quando nova porção de ração era oferecida. A ração continha 35% de proteína bruta na base natural (10% de umidade). Na despesa foram contados quantos camarões sobreviveram.

Os dados do desempenho zootécnico foram cálculos para a média inicial e final dos camarões, ganho de peso semanal, taxa de sobrevivência, biomassa final e fator de conversão alimentar. As fórmulas usadas foram as seguintes:

**Peso médio inicial (g)** = biomassa (g) / número inicial de camarões

**Peso médio final (g)** = biomassa (g) / número final de camarões

**Ganho de peso semanal (g.semana<sup>-3</sup>)** = [(peso médio final dos camarões (g) – peso médio inicial (g)) / (dias de cultivo)] \*7

**Taxa de sobrevivência (%)** = (número final de camarões) / (número inicial de camarões)\*100

**Fator de Conversão Alimentar (FCA)** = ração consumida (g) / ganho de biomassa dos camarões (g)

**Biomassa final (g.m<sup>-3</sup>)** = biomassa do número final de camarões (g) / volume do tanque (m<sup>3</sup>)

### **III.2.6 Análises estatísticas**

As análises estatísticas de medidas descritivas, de dispersão, normalidade, homogeneidade, testes de hipótese e análises multivariadas foram realizadas no software R (R version 3.5.1, Boston, USA). A normalidade de cada variável foi avaliada com teste de Shapiro-Wilk Test e a homogeneidade de variâncias pelo teste Levene's.

Para avaliação de diferença significativa das variáveis de interesse entre o grupo experimental e o grupo controle aplicou-se a ANOVA de medidas repetidas no tempo. Nos dados que não atenderam os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias utilizou-se modelos mistos. Valores de amônia que ultrapassaram a faixa de detecção dos testes analíticos ( $> 5$ ) foram padronizados, adotando-se o valor seis. O valor  $p$  aceitável para significância foi de 0,05.

A análise de componentes principais (PCA), que integra as análises multivariadas de ordenação, foi aplicada para verificar se havia variáveis físico-químicas dos efluentes de cada tanque relacionadas, assim como, agrupamento diferente entre as réplicas dos tanques experimentais e as réplicas dos tanques controle.

## **III.3 Resultados**

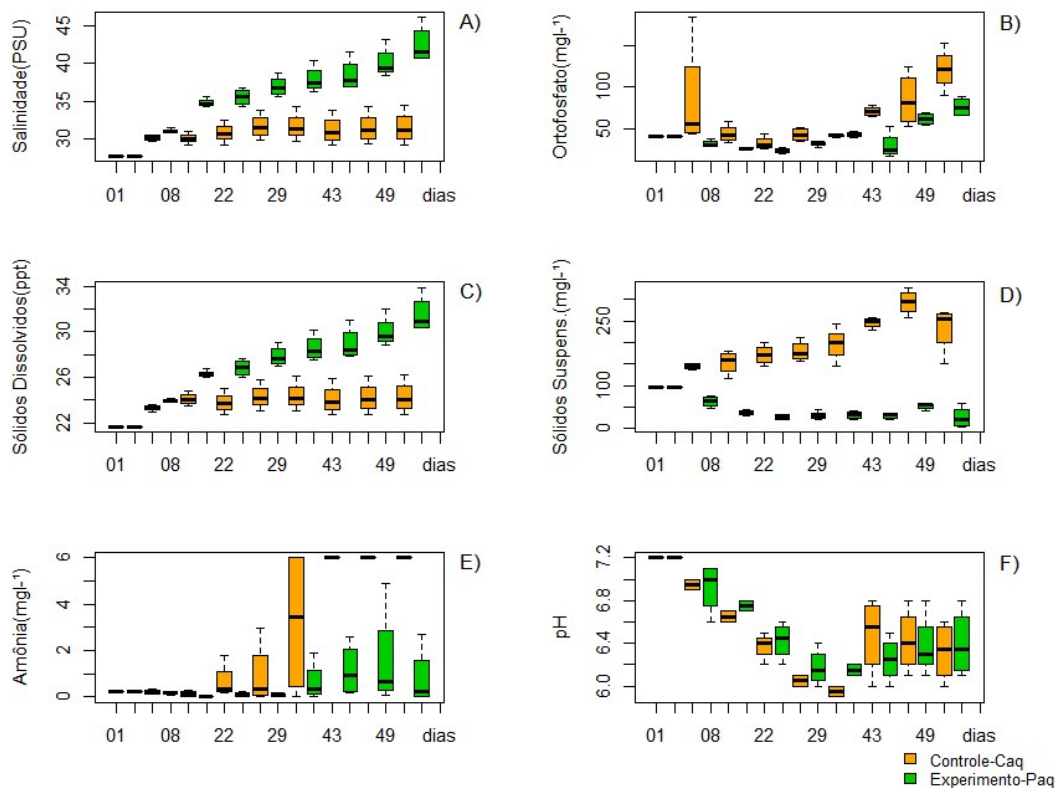
O tratamento experimental ( $P_{aq}$ ) com plantas proporcionou a remoção de amônia, ortofosfato e sólidos suspensos totais durante os 56 dias da realização do experimento. A halófito *Batis maritima* obteve maior ganho de biomassa do que a espécie *Sarcocornia ambigua*. E a planta *Sporobolus virginicus* não foi adequada para essa forma de cultivo. O desempenho zootécnico dos camarões não foi afetado pelos dois tipos de tratamentos, apresentando resultados esperados dentro das condições e tempo de cultivo.

### **III.3.1 Variáveis físico-químicas da água**

Foi encontrado efeito estatisticamente significativo para interação dos tratamentos e semanas para as variáveis salinidade, sólidos dissolvidos totais, ortofosfato, sólidos suspensos totais, amônia e pH. A diferença foi de valores maiores para salinidade e sólidos suspensos totais no tratamento experimental, com plantas –  $P_{aq}$  (Gráfico 1A, 1C). Para ortofosfato, sólidos suspensos totais e amônia os valores foram maiores no tratamento controle –  $C_{aq}$  do que no tratamento experimental com plantas (Gráfico 1B, 1D, 1E).



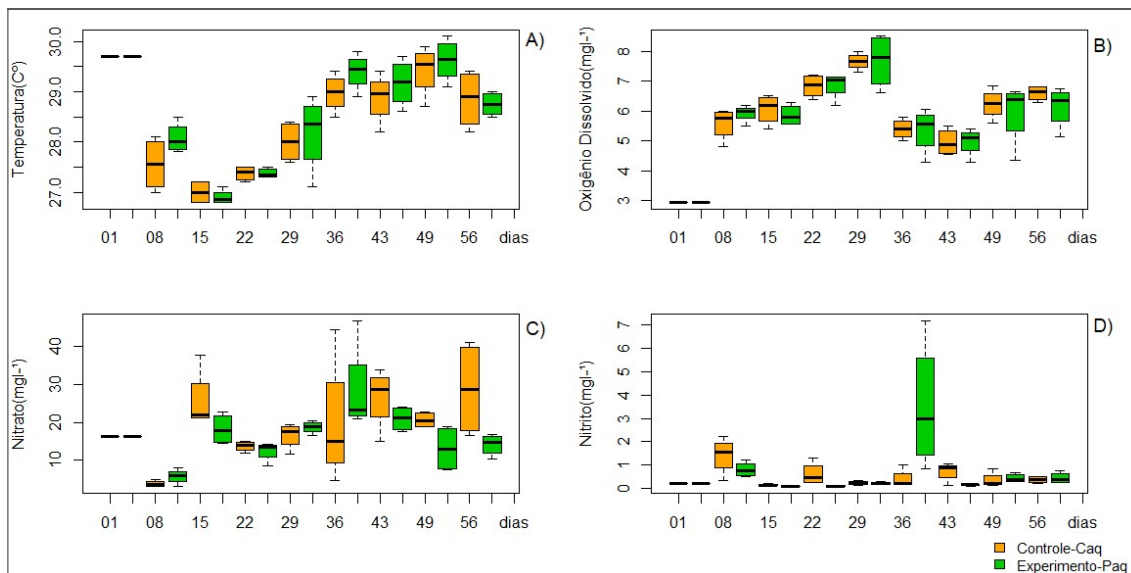
Gráfico 1 – Boxplot das variáveis salinidade (A), ortofosfato (B), sólidos totais dissolvidos (C), sólidos suspensos totais (D), amônia (E) e pH (F), no período de oito semanas, dos tratamentos controle – Caq (n=4) e experimental – Paq (n=4). Medições individuais para cada variável em cada semana (dados brutos) podem ser baixadas no material suplementar <http://doi.org/10.6084/m9.figshare.7878179>.



Fonte: elaborado pela autora.

Diferenças significativas não foram constatadas entre os tratamentos controle (C<sub>aq</sub>) e experimental com plantas (P<sub>aq</sub>) para as variáveis: temperatura, oxigênio dissolvido, nitrato e nitrito (Gráfico 2A, 2B, 2C, 2D). No entanto, constataram-se diferenças significativas para ANOVA de medidas repetidas no tempo nas variáveis temperatura, oxigênio dissolvido e nitrato de cada tratamento.

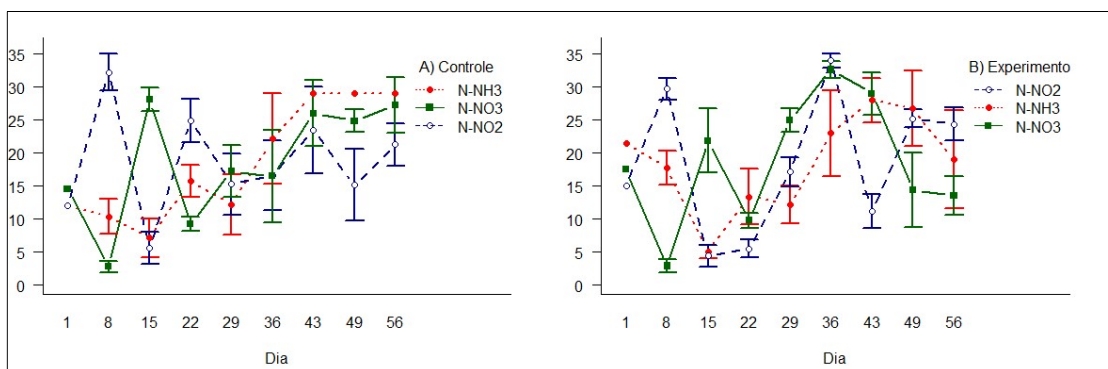
Gráfico 2 – Boxplot das variáveis temperatura (A), oxigênio dissolvido (B), nitrato (C) e nitrito (D) no decorrer de oito semanas para os tratamentos controle – C<sub>aq</sub> (n=4) e experimental – P<sub>aq</sub> (n=4).



Fonte: elaborado pela autora.

Na série nitrogenada, os valores para nitrito (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) nas últimas semanas foram maiores nas réplicas experimentais com plantas – P<sub>aq</sub> (Gráfico 3B, enquanto nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e amônia (N-NH<sub>3</sub>) apresentaram valores maiores nos tratamentos controle – C<sub>aq</sub> (Gráfico 3A).

Gráfico 3 – Gráfico de linhas dos tratamentos controle - C<sub>aq</sub> (A) e experimental com plantas - P<sub>aq</sub> (B) com os valores de amônia (N-NH<sub>3</sub>), nitrito (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) e nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), transformados por rank.

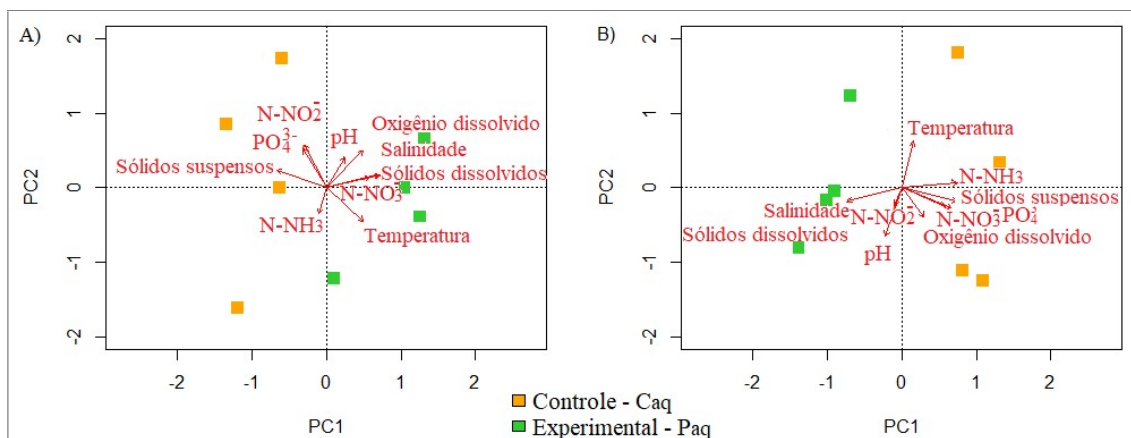


Nota: os traços longitudinais nos pontos representam o erro padrão, n=4. Fonte: elaborado pela autora.

No início da segunda semana, 8º dia (Figura 3A), salinidade e sólidos totais dissolvidos, seguidos por nitrato, estavam mais relacionados positivamente entre si e

negativamente com sólidos suspensos totais, no componente principal um da PCA. O PC1 explicou 43% da variação conjunta dos dados físico-químicos, enquanto o PC2 25%. As amostras do tratamento experimental ficaram mais relacionadas positivamente ao PC1, enquanto, as amostras do tratamento controle, mais próximas dos sólidos suspensos totais.

Figura 3 – Biplot dos componentes principais (CP1 x CP2) das réplicas dos tanques de criação de camarão do tratamento experimental e do tratamento controle, em relação às variáveis físico-químicas: A) 2ª semana, 8º dia, e B) 8ª semana, 56º dia.

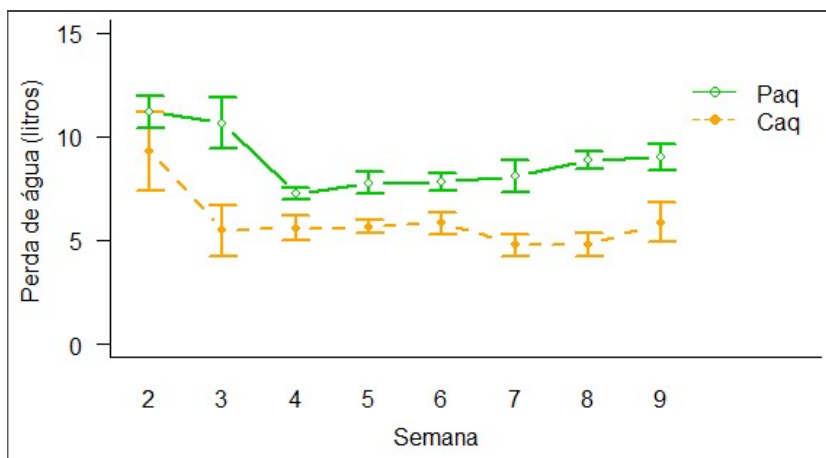


Fonte: elaborado pela autora.

Ao final do experimento, 56º dia (Figura 3B), o PC1 explicou 52%, e o PC2 20% da variância conjunta dos dados. No PC1, as variáveis explicativas foram amônia e sólidos suspensos totais, seguido por ortofosfato e nitrato, estando positivamente relacionadas entre si e com as amostras do tratamento controle – C<sub>aq</sub>. E negativamente relacionadas à salinidade e sólidos dissolvidos totais. Na PC2, temperatura e pH estavam em oposição, sendo as variáveis explicativas desse componente e apresentando padrão de comportamento distinto para as réplicas dos dois tratamentos.

A perda de água (Gráfico 4) nas réplicas do tratamento experimental, com plantas (P<sub>aq</sub>), foi maior do que nas réplicas do controle (C<sub>aq</sub>), sem plantas.

Gráfico 4 – Gráfico de linhas mostrando o valor médio e erro padrão para o volume de água perdido nas réplicas do tratamento controle – C<sub>aq</sub> (n = 4) e tratamento experimental – P<sub>aq</sub> (n = 4).

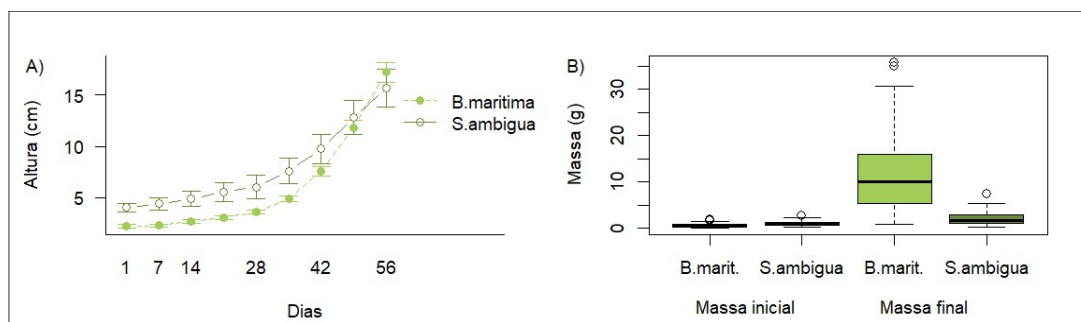


Fonte: elaborado pela autora.

### III.3.2 Produção e taxa de sobrevivência das halófitas

O ganho de biomassa total das plantas das quatro réplicas do tratamento experimental foi de 876,63 g para a espécie *Batis maritima* e 22,3 g para *Sarcocornia ambigua*. E entre o peso inicial e final para cada réplica houve diferença significativa (Gráfico 5).

Gráfico 5 – Crescimento em altura com média e erro padrão (A), e boxplot com medianas, quartis e outliers para massa inicial e final (B), das espécies *Batis maritima* e *Sarcocornia ambigua*.



Fonte: elaborado pela autora.

A espécie *Sporobolus virginicus* desenvolveu raízes no início do experimento,

mas os galhos restantes secaram e as plantas morreram ao final do experimento. E a taxa de sobrevivência para a espécie *Batis maritima* ( $21,0 \pm 4,8$ ; 70,0%) foi maior do que para a *Sarcocornia ambigua* ( $5,5 \pm 3,2$ ; 52,5%). A tabela 1 apresenta os dados para desempenho produtivo das plantas cultivadas no experimento e taxa de sobrevivência.

Tabela 1 – Taxa de Crescimento Relativo (TCR) e Taxa de Crescimento Absoluto (TCA), produção e sobrevivência das mudas das espécies *Batis maritima* e *Sarcocornia ambigua* cultivadas.

Dados de produtividade	<i>Batis maritima</i>	<i>Sarcocornia ambigua</i>
TCR ( $\text{g.g}^{-1}.\text{d}^{-1}$ )	0,037	0,023
TCR ( $\text{g. d}^{-1}$ )	0,283	0,190
Biomassa inicial (g)	46,97	26,747
Biomassa final (g)	923,60	48,77
Ganho de Biomassa Total (g)	876,60	22,30
Área de cultivo ( $\text{m}^2$ )	0,48	0,16
Produtividade ( $\text{g.m}^2$ )	1826,25	139,38
Quantidade de dias	56	56
Taxa de Sobrevivência (%)	70,00	52,50

Fonte: elaborado pela autora.

### III.3.3 Índice de produção de *Litopenaeus vannamei*

A massa corporal dos camarões apresentou efeito estatístico significativo entre as amostras pareadas do início e do final do experimento para o controle ( $C_{\text{aq}}$ ) e para o tratamento experimental ( $P_{\text{aq}}$ ). Entre os tratamentos, tanto para as medidas iniciais quanto finais, não houve efeito estatisticamente significativo.

A sobrevivência, a biomassa inicial e a biomassa final dos camarões não apresentaram diferenças significativas entre controle e tratamento experimental. Houve efeito estatisticamente significativo para o consumo de ração, sendo maior no controle. O índice de produção do camarão para o controle e o tratamento experimental é apresentado na Tabela 2.

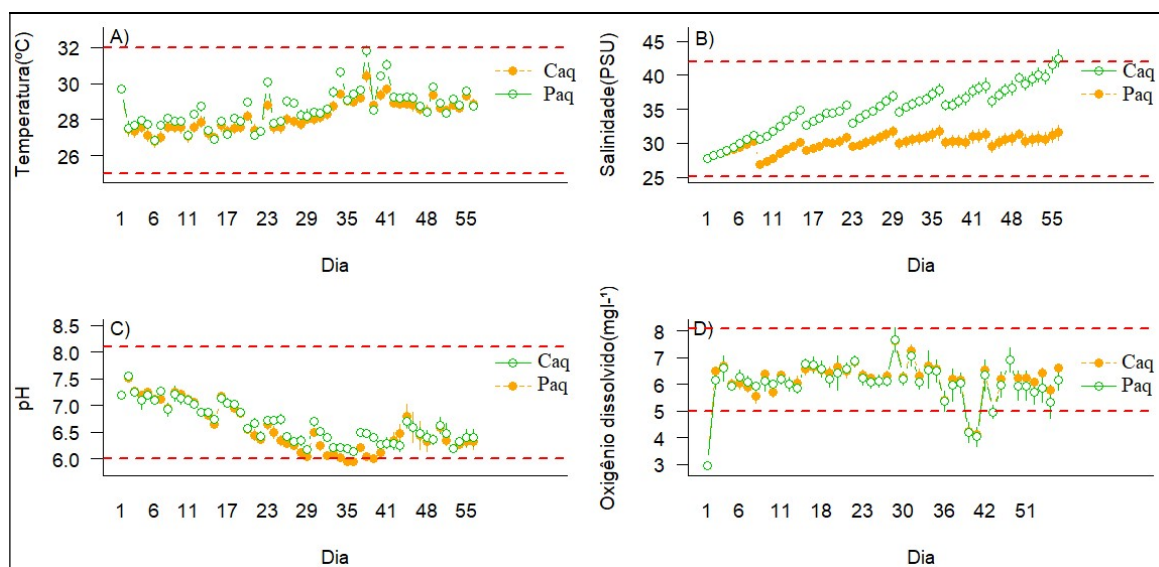
Tabela 2 - Índice de produção do *Litopenaeus vannamei*, densidade de 254 camarões por m<sup>3</sup>, em 56 dias.

Parâmetro	Controle (P <sub>aq</sub> )	Tratamento experimental (P <sub>aq</sub> )
Peso da média inicial(g)±sd(min-max)	1,7 ± 0,7(0,2-3,2)	1,4 ± 0,5(0,6-2,9)
Peso da média final (g) ± sd (min-max)	12,9 ± 2,8(7,7-18,3)	11,5 ± 1,5(7,9-14,3)
Ganho de peso semanal (g.semana <sup>-1</sup> )	1,5	1,3
Biomassa final (g.m <sup>-3</sup> )	3103,2	2866,7
Taxa de sobrevivência (%)	91,7	95,0
Fator de conversão alimentar	1,4	1,5
Biomassa total final (g)	158,1	142,6

Fonte: elaborado pela autora.

Temperatura (ALVES, MELLO, 2007), Gráfico 6A, salinidade (MORENO *et al.*, 2006), Gráfico 6B, nitrato (VAN WYK, SCARPA, 1999), Gráfico 7C, e sólidos suspensos totais (KRUMMENAUER *et al.*, 2014), Gráfico 7D, ficaram dentro das faixas recomendadas para a criação de camarão. O pH (BOYD, 1984), Gráfico 6C, o oxigênio dissolvido (VAN WYK, SCARPA, 1999), Gráfico 6D, e o nitrito (BOYD, 1984), Gráfico 7B, apresentaram condições adequadas na maioria das medições.

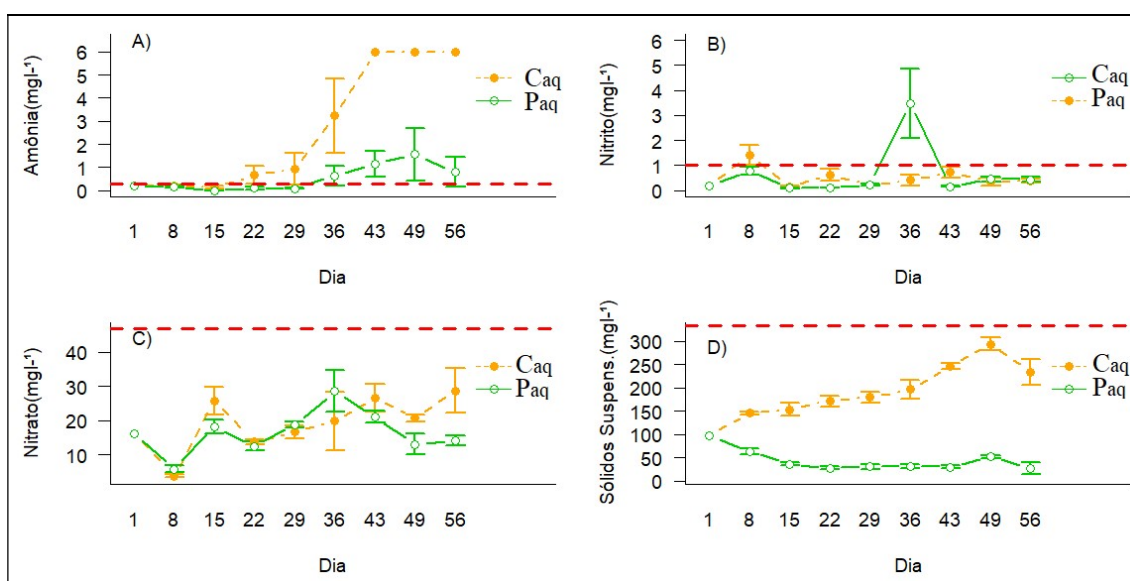
Gráfico 6 – Gráfico temporal com os valores médios semanais e erro padrão das variáveis: temperatura (A), salinidade (B), pH (C) e oxigênio dissolvido (D) das réplicas controle (C<sub>aq</sub>, n=4) e experimental (P<sub>aq</sub>, n=4). A linha tracejada vermelha (---) representa a faixa recomendável para o cultivo de camarão.



Fonte: elaborado pela autora.

As medições de temperatura ficaram na faixa de 26,1°C – 32,6°C próximos a temperatura ótima, entre 28°C e 32,0°C. Para amônia (Gráfico 7A), os valores não se mantiveram até o final do experimento dentro das faixas adequadas, e ortofosfato ficou acima dos valores recomendados para criação do camarão.

Gráfico 7 – Gráfico temporal com os valores médios semanais e erro padrão das variáveis: amônia (A), nitrito (B), nitrato (C) e sólidos suspensos totais (D) para as réplicas controle ( $C_{aq}$  –  $n=4$ ) e experimental ( $P_{aq}$  –  $n=4$ ). A linha tracejada vermelha (---) representa a faixa recomendável para o cultivo de camarão de cada variável.



Fonte: elaborado pela autora.

### III.4 Discussão

#### III.4.1 Variáveis físico-químicas

O efeito de diferenças estatisticamente significativas de variáveis físico-químicas foi desencadeado, ao longo das oito semanas, pela presença das plantas e recirculação ininterrupta da água no tratamento experimental –  $P_{aq}$ . Essas condições relacionam-se ao aumento da salinidade e dos sólidos totais dissolvidos no tratamento experimental ( $P_{aq}$ ) e, no tratamento controle ( $C_{aq}$ ) ao acúmulo de sólidos suspensos totais com maior concentração de amônia e ortofosfato.

Os valores significativamente menores de sólidos suspensos totais no tratamento experimental estão diretamente relacionados com a retenção desses sólidos pelas raízes das

plantas nas estruturas aquapônicas. Pinheiro e colaboradores (2017), em experimento com sistema de aquaponia, promoveram a circulação da água em calhas de bancadas hidropônicas com plantas (tratamento experimental) e sem plantas (tratamento controle). Além disso, usaram câmaras de decantação para manter controlada a concentração de sólidos suspensos nos dois tratamentos, mas sem remoção dos mesmos que eram devolvidos ao tanque a partir do fundo da câmara de decantação. Os pesquisadores consideraram que houve retenção de sólidos suspensos, tanto nas câmaras de decantação quanto nas bancadas hidropônicas, devido a redução dos mesmos na água de cultivo. No estudo concluíram (PINHEIRO *et al.*, 2017), que a redução observada nos tratamentos foi maior no tratamento com plantas, possivelmente, devido à retenção dos sólidos suspensos na zona radicular das plantas.

No tratamento experimental com plantas –  $P_{aq}$ , da presente tese, os sólidos suspensos não apresentaram aumento nas aferições semanais, houve aumento ao longo das semanas para o  $C_{aq}$ . Isso está relacionado ao desenvolvimento das raízes das plantas no  $P_{aq}$  que possibilitaram maior retenção dos sólidos e, dessa forma, anularam a ação acumulativa esperada na tendência da linha temporal.

Valores menores de ortofosfato no  $P_{aq}$  do que no  $C_{aq}$  também estão relacionados a remoção dessas partículas, visto que, está frequentemente ligado a sólidos suspensos (ANDREW *et al.*, 2010). Matéria orgânica acumulada em canais de irrigação pode ser benéfica para a aquaponia, pois a decomposição dos sólidos proporciona o processo de mineralização ocasionando liberação de nutrientes inorgânicos essenciais ao crescimento das plantas (PINHEIRO *et al.*, 2017). Além disso, plantas necessitam e absorvem ortofosfato disponível no meio para o seu crescimento (PINHEIRO *et al.*, 2017).

Em tratamento de águas residuárias de cultivo de peixe com a espécie *Vetiveria zizanioides* houve redução em 42,75% de ortofosfato, no 14º dia do experimento (EFFENDI *et al.*, 2018). E em estudo clássico de Esteves (2010) foi comprovada a remoção de fósforo e nitrogênio por parte de plantas aquáticas que cresciam em canal receptor de esgoto.

No experimento desta tese, ao final da primeira semana, enquanto os sólidos suspensos totais apresentaram as primeiras diferenças entre  $C_{aq}$  e  $P_{aq}$ , amônia e ortofosfato só apresentaram diferenças a partir da sexta semana, 43º dia. No experimento de Pinheiro e colaboradores (2017), constatou-se que, a partir do 43º até o 56º dia, os valores de amônia foram maiores no tratamento com plantas, cerca de 0,2 mg l<sup>-1</sup> a mais, do que no controle.

Um diferencial entre esse experimento e de Pinheiro (*et al.*, 2017) foi a circulação da água por câmaras de decantação, fazendo com que a concentração de sólidos suspensos fosse reduzida. A diminuição na concentração de sólidos suspensos pode ocasionar redução da



biomassa bacteriana nitrificante causando acúmulo gradual de amônia total (WONGKIEW *et al.*, 2017), tendo sido constatado esse fato no experimento de Pinheiro (*et al.*, 2017). Ao passo que, no presente experimento, entre os dias 36° e 49°, houve aumento da amônia e dos sólidos suspensos totais, concomitantemente, e redução no 56° dia apenas de sólidos suspensos totais.

Duas condições que diferenciaram o  $C_{aq}$  e  $P_{aq}$  condicionaram a perda maior de água nos tanques do tratamento experimental, acarretando acúmulo progressivo de sólidos totais dissolvidos e, conseqüente, aumento da salinidade (VAN WYK, SCARPA, 1999). Houve efeito estatisticamente significativo para perda de água entre os tratamentos experimental e controle ( $n=4$ ;  $p=0,0000000859$ ), embora entre os dois tratamentos e as semanas não ( $n=4$ ;  $p=0,66439$ ). Sendo que, no tratamento controle ocorreu efeito de diferenças estatisticamente significativas para perda de água entre as semanas ( $n=4$ ;  $p=0,0349$ ), mas no tratamento experimental não ( $n=4$ ;  $p=0,0661$ ).

Segundo Maucieri e colaboradores (2018), ocorrem perdas de água diárias em sistema de aquaponia influenciados principalmente pela razão superficial do sistema hidropônico com o tanque de criação de animais aquáticos e pelas plantas da seção hidropônica. Os mesmos pesquisadores (MAUCIERI *et al.*, 2018) relataram perdas de água devido a processos fisiológicos dos animais, respingos do movimento dos mesmos, evaporação, sendo a evapotranspiração das plantas considerado o fator mais importante na determinação de perda de água em sistemas aquapônicos. Graber e Junge (2009) constataram perdas de água diárias de 9%, 15% e 41% em sistema de aquaponia com culturas comestíveis integradas a criação de peixes.

Houve maior perda hídrica no tratamento experimental –  $P_{aq}$ , por causa do processo de evapotranspiração das plantas. Além disso, a água era lançada em queda livre de cinco centímetros de altura ocasionando respingos no retorno do tanque de camarões. A evapotranspiração das plantas foi o que mais influenciou para a perda de água por ser maior nas últimas semanas, concomitantemente, ao crescimento e ampliação da área foliar das plantas. Num experimento com diferentes espécies de plantas comestíveis, usando sistema de aquaponia, segundo os autores, a reposição de água deu-se, principalmente, em função da evapotranspiração das plantas (HU *et al.*, 2015).

#### **III.4.2 Produção de halófitas**

A *Batis maritima* foi a halófitas que obteve taxa de sobrevivência maior entre as três espécies cultivadas. O'Leary e colaboradores (1985) obtiveram 1,7 kg.m<sup>-2</sup> ao ano de

biomassa seca de *Batis maritima*, enquanto no presente sistema obteve-se 0,14 kg.m<sup>-2</sup>. Essa espécie é uma planta nativa dos ambientes costeiros do Ceará.

A produção de biomassa fresca da *Sarcocornia ambigua* de 0,14 kg m<sup>-2</sup> foi menor do que em outros experimentos que apresentaram valores de 8 kg m<sup>-2</sup> em 73 dias (PINHEIRO *et al.*, 2017), 6 kg m<sup>-2</sup> e 2 kg m<sup>-2</sup> em 150 dias (PINHEIRO *et al.*, 2017). As diferenças ocorreram devido a alta taxa de mortalidade. O que diferenciou desses estudos foi a quantidade de indivíduos plantados, 40 plantas, ou seja, 30 plantas a mais, o substrato de apoio das mudas e o espaço para o desenvolvimento das raízes em canos de 50 mm de diâmetro.

A produtividade também foi bem abaixo da encontrada em áreas do México com quatro espécies do gênero *Atriplex*, *Batis maritima* e *Salicornia europea* irrigadas com água do mar de 40 ppt e diretamente sob solo arenoso (O'LEARY *et al.*, 1985).

A *Sporobolus. virginicus*, embora seja uma planta halófito, não se adaptou à estrutura de cultivo e/ou as condições físico-químicas da água não sobrevivendo nenhum exemplar.

### III.4.3 Desempenho zootécnico do camarão *Litopenaeus vannamei*

O índice de produção para os camarões nesse estudo apresentou resultados semelhantes ao encontrado em outros estudos (BALOI *et al.*, 2013; ARANTES, *et al.*, 2017; PINHEIRO *et al.*, 2017) (Tabela 3).

Tabela 3 - Peso médio final (g), biomassa final (kg m<sup>-3</sup>), fator de conversão alimentar (FCR) e sobrevivência (%) do camarão *Litopenaeus vannamei* relatado por Baloi (*et al.*, 2013), Arantes (*et al.*, 2017) e Pinheiro (*et al.*, 2017).

	<i>Baloi (et al., 2013)</i>	<i>Arantes (et al., 2017)</i>	<i>Pinheiro (et al., 2017)</i>	<i>Nesse experimento</i>
<b>Tempo (dias)</b>	60	61	73	56
<b>Estocagem (camarões m<sup>-3</sup>)</b>	390	164	250	254
<b>Peso médio final (g)</b>	10,4±0,3	10,1±0,2	11,6±0,3	12,9±4,1
	9,1±0,3	12,7±0,4	11,7±0,5	11,5±2,9
<b>Biomassa final (kg m<sup>-3</sup>)</b>	2,7±0,1	1,0±0,2	1,5 ±0,3	3,1
	2,1±0,2	1,6±0,0	1,4±0,4	2,9
<b>FCR</b>	1,9±0,1	1,9±0,3	2,2±0,1	1,4
	2,2±0,2	1,3±0,0	2,1±0,1	1,5
<b>Sobrevivência (%)</b>	97,4±1,9	57,8±1,2	74,5±2,1	91,7
	86,8,8±5,9	73,8±1,4	72,5±1,2	95,0

Fonte: elaborado pela autora.

A faixa de temperatura, que se manteve dentro do ideal, contribuiu para manter a taxa metabólica do camarão e o índice de produção dentro dos padrões esperados, pois está diretamente relacionada ao consumo de ração e de oxigênio, excreção da amônia e melhor desempenho para crescimento (VAN WYK, SCARPA, 1999). As variações diárias de temperatura mensuradas não foram maiores que 4°C, evitando estresse tanto para o camarão quanto para as bactérias de biofiltros (VAN WYK, SCARPA, 1999). A taxa de mortalidade maior para os camarões dos tratamentos controle podem estar diretamente relacionadas aos valores altos de amônia constatados nesses tanques.

### III.5 Conclusão

O sistema de aquaponia proporcionou melhoria da qualidade da água com redução de sólidos suspensos totais, amônia e ortofosfato. O índice de produção de camarão manteve-se adequado quando comparado a outros estudos. A espécie *Batis maritima* apresentou maior taxa de sobrevivência entre as três espécies cultivadas. Já *Sporobolus virginicus* foi uma espécie que não se adequou ao sistema pelo qual foi submetida, pois não sobreviveu. Foi possível reduzir amônia, ortofosfato e sólidos suspensos totais no meio de cultivo e, ao mesmo tempo, produzir 876,63 g de biomassa da espécie *Batis maritima* e 22,3 g da espécie *Sarcocornia ambigua*. Outros estudos podem ser realizados para elucidar melhor se a quantidade de mudas influenciou na taxa de sobrevivência das halófitas.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao professor Alberto Jorge Pinto Nunes e à sua equipe pelo espaço cedido e apoio para o desenvolvimento da pesquisa no Centro de Estudos em Aquicultura Costeira. Ao Depósito Claudio e Comercial Vamberto pela doação de materiais para a confecção dos equipamentos do experimento. E a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap) pela disponibilização de bolsa de doutorado para pesquisa.

### Referências

ABIDEEN, Z; ANSARI, R; GUL, B; KHAN, M. A. The place of halophytes in Pakistan's biofuel industry. **Biofuels**, v. 3, n. 2, p. 211-220, 2012.

AHMED, N.; THOMPSON, S.; GLASER, M. Global Aquaculture Productivity,

Environmental Sustainability and Climate Change Adaptability. **Environmental Management** (2018). <https://doi-org.ez11.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s00267-018-1117-3>.

ALVES, C. S.; MELLO, G. L. **Manual para monitoramento hidrologico em fazendas de camarão**. Recife: FAEPE/SEBRAE-PE. 2007.

ANDREW, J. Ray; KEVIN, S. Dillon; JEFFREY, M. Lotz. Water quality dynamics and shrimp (*Litopenaues vannamei*) production in intensive, mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. **Aquacultural Engineering**, v. 45, p. 127-136, 2010.

ARANTES, Rafael; SCHVEITZER, Rodrigo; MAGNOTTI, Caio; LAPA, Katt Regina; VINATEA, Luis. A comparison between water Exchange and settling tank as a method for suspended solids management in intensive biofloc technology systems: effects on shrimp (*Litopenaues vannamei*) performance quality and water use. **Aquaculture Research**, v. 48, p. 1478-1490, 2017.

BALOI, Manecas; ARANTES, Rafael; SCHVEITZER, Rodrigo; MAGNOTTI, Caio; VINATEA, Luis. Performance of Pacific White shrimp *Litopenaues vannamei* raised in biofloc systems with varying levels of light exposure. **Aquacultural Engineering**, v. 52, p. 39-44, 2013.

BOYD, C. E. **Water Quality in Ponds for Aquaculture**. Auburn, AL: Auburn University/ Alabama Agricultural Experiment Station. 1984.

BUHMANN, A.; PAPENBROCK, J. Biofiltering of aquaculture effluents by halophytic plants: Basic principles, current uses and future perspectives. **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, p. 122-133, 2013.

CASTILHO-BARROS, Leonardo; ALMEIDA, Fábio; HENRIQUES, Marcelo; SEIFFERT, Walter. Economic evaluation of the commercial production between Brazilian samphire and whiteleg shrimp in an aquaponics system. **Aquaculture International**, v. 26, n. 5, p. 1187-1206, 2018.

DIVER, S. **Aquaponics - Integration of hydroponics with aquaculture**. ATTRA Natl. Sustain. Agric. Inf. Serv. Natl. Cent. Approp. Technol. Disponível em: <https://attra.ncat.org/attra-pub/viewhtml.php?id=56>. Acesso em: 24 set. 2006.

EFFENDI, Hefni; WIDYATMOKO, Bagus A.; UTOMO, Niken T. M.; PRATIWI, Niken T. M. Ammonia and orthophosphate removal of tilapia cultivation wastewater with *Vetiveria zizanioides*. **Journal of King Saud University – Science**, 2018. ISSN: 1018-3647 ; DOI: 10.1016/j.jksus.2018.04.018.

ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência. 2010.

FAO. **The future of food and agriculture – Trends and challenges**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017.

FERNANDES, Albaniza Rodrigues. **A produção midiática da maré do camarão no Ceará**.

2007. 178 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências, Fortaleza, CE, 2007.

GODDEK, Simon; DELAIDE, Boris P.L.; JOYCE, Alyssa; WUERTZ, Sven; JIJAKLI, M. Haïssam; GROSS, Ami; EDING, Ep H.; BLÄSER, Ingo; REUTER, Michael; KEIZER, L.C. Paul; MORGENSTERN, Rolf; KÖRNER, Oliver; Verreth, Johan; KEESMAN, Karel J. Nutrient mineralization and organic matter reduction performance of RAS-based sludge in sequential UASB-EGSB reactors. **Aquacultural Engineering**, v. 83, p. 10-19, 2018.

GRABER, Andreas; JUNGE, Ranka. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. **Desalination**, v. 246, p. 147-156, 2009.

GUL, B.; ABIDEEN, Z.; ANSARI, R; KHAN, M. A. Halophytic biofuels revisited. **Biofuels**, v. 4, n. 6, p. 575-577, 2013.

HU, Zhen; LEE, Jae Woo; CHANDRAN, Kartik; KIM, Sungpyo; BROTTTO, Ariane Coelho; KHANAL, Samir Kumar. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. **Bioresource Technology**, v. 188, p. 92-98, 2015.

HURLBERT, Stuart H. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. **Ecological Monographs**, v. 54, n. 2, p. 187-211, 1984.

KRUMMENAUER, Dariano; SAMOCHA, Tzachi; POERSCH, Luis; LARA, Gabriele; WASIELESKY, Jr. Wilson. The Reuse of Water on the Culture of Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in BFT System. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 45, n. 1, p. 3-14, 2014.

KSOURI, Riadh; KSOURI, Wided Megdiche; JALLALI, Inès; DEBEZ, Ahmed; MAGNÉ, Christian; HIROKO, Isoda; ABDELLY, Chedly. Medicinal halophytes: potent source of health promoting biomolecules with medical, nutraceutical and food applications. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 32, n. 4, p. 289-326, 2012.

JEGATHEESAN, V.; SHU, L.; VISVANATHAN, C. Aquaculture effluent : impacts and remedies for protecting the environment and human health. In: Nriagu J, editor. Encyclopedia of environmental health, **Elsevier Science**, Burlington: Vt; 2011. p.123-135.

MARQUES, Ana Rita; PEREIRA, Marcelo; FERREIRA Neto, Jose Soares; FERREIRA, Fernando. Design and prospective evaluation of a risk-based surveillance system for shrimp grow-out farms in northeast Brazil. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 122, p. 355-362, 2015.

MAUCIERI, Carmelo Nicoletto; CARLO; Junge, Ranka; SCHMAUTZ, Zala; SAMBO, Paolo; BORIN, Maurizio. Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. **Italian Journal of Agronomy**, v. 13, n. 1012, p. 1-11, 2018.

MORENO, M., SÁENZ, L.; GONZÁLEZ, H. **Protocolo de Sanidad para el cultivo del camarón blanco en el estado de Baja California**. Mexicali: CESAIBC, 2006.

O'LEARY, J. W.; GLENN, E. P.; WATSON, M.C. Agricultural production of halophytes irrigated with seawater. **Plant and Soil**, v. 89, n. 1-3, p. 311-321, 1985.

PINHEIRO, Isabela.; ARANTES, Rafael; SANTO, Carlos.; VIEIRA, Felipe; LAPA, Katt; GONZAGA, Luciano; FETT, Roseane; BARCELOS-OLIVEIRA, Jorge; SEIFFERT, Walter. Production of the halophyte *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in an aquaponic system with biofloc technology. **Ecological Engineering**, v. 100, p. 261-267, 2017.

R CORE TEAM (2018). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RAPOSO, Maria Filomena de J.; MORAIS, Rui Manoel S. C.; MORAIS, Alcina Maria M. B. Controlled atmosphere storage for preservation *Salicornia ramosissima*. **Int. J. Postharvest Technology and Innovation**, v. 1, v. 4, p. 394-404, 2009.

RHEE, M. H; PARK. H.J.; CHO, J.Y. *Salicornia herbacea*: botanical, chemical and pharmacological review of halophyte marsh plant. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 3, n. 8, p. 548-555, 2009.

SHAER, Hassan M. Halophytes and salt-tolerant plants as potential forage for ruminants in the Near East region. **Small Ruminant Research**, v. 91, n. 1, p. 3-12, 2010.

TSAGARAKI, Tatiana M.; PETIHAKIS, George; TSIARAS, Kostas; TRIANTAFYLLOU, George; TSAPAKIS, Manolis; KORRES, Gerasimos; KAKAGIANNIS, George; FRANGOULIS, Constantin; KARAKASSIS, Ioannis. Beyond the cage: Ecosystem modelling for impact evaluation in aquaculture. **Ecological Modelling**, v. 222, n. 14, p. 2512-2523, 2011.

VAN WYK, P.; SCARPA, J. Water quality requirements and management. In: Van Wyk P, Davis-Hodgkins M, Laramore R, Min K, Mountain J, Scarpa J, editors. Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems. Florida: **Department of Agriculture and Consumer Services**, Tallahassee; 1999. p. 141-62.

WONGKIEW, Sumeth; POPP, Brian N.; KIM, Hye-Ji; KHANAL, Samir Kumar. Fate of nitrogen in floating-raft aquaponic systems using natural abundance nitrogen isotopic compositions. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 125, p. 24-32, 2017.

## **CAPÍTULO IV – DESENVOLVIMENTO E TEOR DE MINERAIS DE *Batis maritima* CULTIVADA COM EFLUENTE DO CAMARÃO *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931)**

### Resumo

O cultivo integrado de plantas halófitas com a criação de animais aquáticos possibilita remoção da matéria orgânica, nitrogênio e fósforo dos efluentes da criação e pode levar ao cultivo de plantas com valor econômico. *Batis maritima* é uma planta halófitas, que ocorre no Brasil em dunas do litoral nordestino. Na literatura é citada como fonte alimentar para o gado, ao mesmo tempo que também apresenta potencial para tratamento de águas residuárias de aquicultura. A determinação da composição química de *Batis maritima* cultivada em diferentes substratos, submetida a diferentes formas de irrigação e ofertas nutricionais distintas; assim como, seu desempenho produtivo são importantes para avaliação de suas potenciais aplicações. Dessa forma, quantificou-se o teor de minerais de amostras da espécie *Batis maritima* cultivadas em dois sistemas experimentais de bancada, sendo um com água de um estuário onde a espécie ocorre naturalmente (rio Pacoti) e outro com água residuária de efluentes da criação de camarão, em substrato de areia. As plantas foram cultivadas nos sistemas durante 111 dias, sendo feitas medidas do crescimento da altura das plantas, semanalmente, e do peso inicial e final. A biomassa seca final de todas as plantas cultivadas com água salgada do estuário foi de 10,2 g e com efluente de 26,7 g. Os teores de nitrogênio, fósforo, potássio e dióxido de silício foram maiores nas plantas cultivadas com efluente do que com água do rio Pacoti. E para cálcio, ferro, magnésio, cobre, zinco e manganês os teores maiores foram encontrados para as plantas cultivadas com água do Rio.

Palavras-chaves: Reuso de efluente. Camarão branco. Halófitas.

### **IV.1 Introdução**

Os sistemas de produção agrícola e o consumo de alimentos necessitam passar por grandes transformações para atender à demanda mundial de forma inclusiva e sustentável (FAO, 2017). O uso intensivo de terras ocasiona dependência de insumos e gera graves danos ambientais, tais como, o esgotamento e a salinização dos solos (FAO, 2017).

Em Assembleia Geral da ONU, criou-se nova agenda de desenvolvimento

sustentável com 17 objetivos a serem alcançados até 2030. Nesse contexto, destacam-se os seguintes: garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes para aumentar a produtividade, reduzir os impactos sobre os ecossistemas e desenvolver capacidade adaptativa às alterações climáticas, às condições meteorológicas extremas, às secas e às inundações (UNITED NATIONS, 2015).

O cultivo integrado de plantas em aquaponia usando os efluentes da criação de animais marinhos é uma das alternativas para atender essa demanda, pois otimiza recursos naturais e trata parcialmente águas residuárias, que seriam descartadas com altos níveis de nitrogênio e fósforo, melhorando sua qualidade (PINHEIRO *et al.*, 2017). Nesse caso, faz-se necessário o uso de plantas que sejam resistentes, adaptadas a meios salinos e apresentem potencial para consumo e outros possíveis fins produtivos (BUHMMAN; PAPENBROCK, 2013; SHAER, 2010).

Halófitas (halo = sal, phyton = planta) são definidas como espécies de plantas que crescem naturalmente em habitats salinos (SQUIRES; AYOUB, 1992). São plantas que desenvolveram mecanismos para crescerem em ambientes com altas concentrações de sódio e algumas necessitam dele como nutriente (RAVEN *et al.*, 2007). Elas não são um grupo taxonômico e estão representadas por espécies de arbustos, herbáceas e árvores com origens evolutivas distintas, sendo sua natureza e ecologia consideradas muito complexas (SQUIRES; AYOUB, 1992).

Há variações adaptações desenvolvidas pelas halófitas e muitas delas, para manterem concentrações baixas de sódio dentro das suas células, utilizam bomba de potássio e sódio para reenviar o sódio absorvido de volta ao ambiente e bombear potássio para dentro das células (RAVEN *et al.*, 2007). Outras halófitas, depois de absorverem o sódio do ambiente, secretam o mesmo ou o isolam do citoplasma de suas células (RAVEN *et al.*, 2007).

As halófitas são plantas que possuem características fisiológicas especiais e podem ser utilizadas em cultivos integrados a animais marinhos (PINHEIRO *et al.*, 2017). Elas apresentam grande diversidade de aplicações, inclusive na alimentação humana e de animais (SHAER, 2010; RHEE *et al.*, 2009; KSOURI *et al.*, 2012).

A espécie *Batis maritima*, halófito verdadeira, da família Bataceae, é uma planta perene, subtropical e tropical, com ampla distribuição nas Américas (LONARD, *et al.*, 2011). Ocorre nas regiões costeiras, em restingas, marismas e manguezais com salinidade variando entre 18 a 50 psu (LONARD, *et al.*, 2011).

Sementes da espécie *Batis maritima* contém 17,3% de proteína bruta e 25% de óleo (MARCONE, 2003); as raízes são usadas como adoçante para o café pelos índios



Comiáac do México; as folhas são servidas em saladas em Porto Rico para alimentação humana; fornece nutrição e cobertura para animais selvagens; na medicina popular porto riquense é utilizada no tratamento de gota, eczema, psoríase, reumatismo, sangue e distúrbios da tireóide; na Península de Yucatán no México é usada para curar infecções cutâneas (LONARD *et al.*, 2011).

Estudos investigaram níveis de tolerância dessa espécie a diferentes concentrações salinas (DEBEZ *et al.*, 2010; GUIMARÃES *et al.*, 2014); a composição química das sementes (MARCONE, 2003); o crescimento e ganho de biomassa irrigadas com efluente de camarão e em sistemas de aquaponia (SCHARDONG *et al.*, 2018); seus aspectos botânicos, taxonômicos, distribuição geográfica e usos populares (LONARD *et al.*, 2011); presença de fósforo e chumbo nas suas raízes e folhas para mensurar a capacidade de fitoextração de metal pesado; entre outros que consideraram aspectos de cultivo e crescimento.

Visando determinar questões nutricionais e toxicológicas, faz-se necessário a avaliação de minerais em vegetais comestíveis (RAO *et al.*, 2007) ou de uso medicinal. Em geral, há necessidade de estudos que investiguem as propriedades e componentes químicos das halófitas em distintos ambientes e sob diferentes condições de stress (BERTIN *et al.*, 2014). Considerando o potencial alimentar e medicinal da espécie *Batis maritima*, há necessidade de pesquisas que determinem sua composição química quando cresce em diferentes substratos e formas de irrigação, assim como, submetidas a diferentes concentrações de nutrientes.

Dessa forma, a proposta desse estudo foi comparar o crescimento de *Batis maritima* quando irrigada com água do rio Pacoti e água de efluente da carcinicultura, o ganho de biomassa e identificar o teor de minerais das partes aéreas.

## **IV.2 Materiais e Métodos**

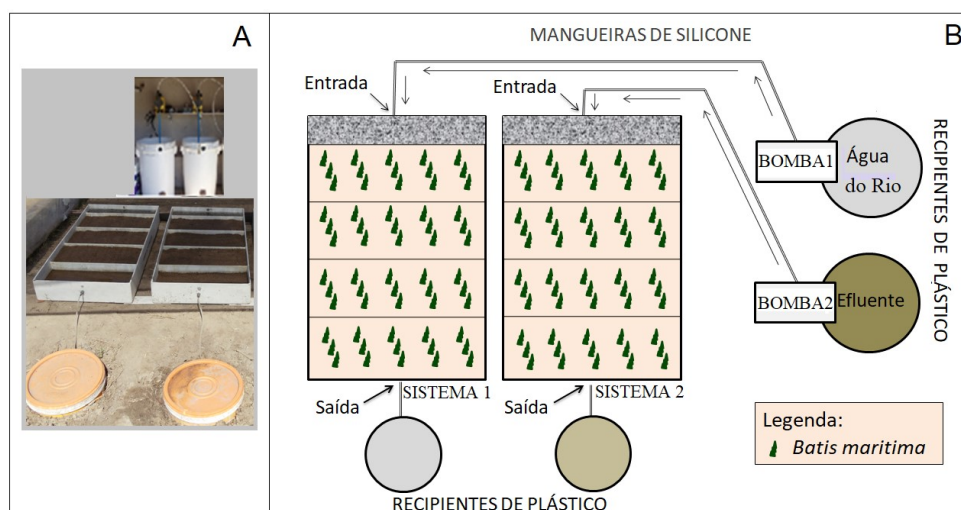
### ***IV.2.1 Preparo das mudas e cultivo***

A coleta das plantas e o preparo e cultivo das mudas foram realizados no Centro de Estudos em Aquicultura Costeira (CEAC) da Universidade Federal do Ceará, localizado próximo ao estuário do rio Pacoti, no município de Eusébio, estado do Ceará. A espécie é encontrada naturalmene no estuário do Rio Pacoti, como parte da flora nativa do local. Galhos de *Batis maritima* foram coletados em canteiro de cultivo de halófitas do CEAC. Dos galhos foram cortadas estacas de cinco centímetros e fincadas em células de cultivo de plantas de

bandejas de isopor com substrato de areia e húmus na proporção de 1:1. As bandejas com estacas foram irrigadas com água doce e, após enraizamento, transferidas para o local definitivo de cultivo do experimento.

O cultivo experimental foi feito em duas caixas de material de fibra (0,90 m de comprimento x 0,48 m de largura x 0,11 m de profundidade) com cinco compartimentos, denominadas de sistemas (Figura 1A). O primeiro compartimento foi preenchido com brita nº 0 e os outros com areia (composição granulométrica, características e análise química especificados na tabela 1).

Figura 1 – Foto (A) e esquema (B) dos sistemas para cultivo de *Batis maritima* irrigadas com água filtrada do Rio Pacoti e com efluentes de carcinicultura.



Fonte: imagem e esquema elaborados pela autora.

Tabela 1 – Análise de solo do substrato utilizado nos sistemas: composição granulométrica e complexo sortivo.

Parâmetros	Composição granulométrica	Parâmetros	Complexo sortivo
Areia grossa (g/kg)	898	Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /kg)	1,00
Areia fina (g/kg)	76	Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /kg)	0,70
Silte (g/kg)	1	Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> /kg)	0,56
Argila (g/kg)	25	K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> /kg)	0,06
Argila natural (g/kg)	18	H+ Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> /kg)	0,17
Classificação textural	Areia	Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> /kg)	0,00
Grau de flocculação(g/100g)	29	C (g/kg)	0,72
Densidade global (g/cm <sup>3</sup> )	1,51	N (g/kg)	0,07
Densidade Particula (g/cm <sup>3</sup> )	2,77	MO (g/kg)	1,24
pH (água)	7,9	P assimilável (mg/kg)	21
Condutividade elétrica(dS/m)	0,21	SiO <sub>2</sub> (mg/kg)	36,02

Fonte: tabela elaborada pela autora.

Nos compartimentos dois e três foram plantadas 30 mudas de *B. maritima*, e nos

compartimentos quatro e cinco 60 mudas do capim *Sporobolus virginicus*. Nos dois últimos compartimentos as mudas de capim não sobreviveram, sendo substituídas por 30 mudas de *Batis maritima*, na quarta semana após o plantio das primeiras mudas (Figura 1B).

Numa das caixas, as plantas foram irrigadas com água do Rio Pacoti e, na outra caixa com efluente da criação do camarão *Litopenaeus vannamei* de tanques experimentais do CEAC. O cultivo das mudas ocorreu durante 111 dias em 16 semanas. No início de cada semana eram ligadas as bombas dosadoras com vazão de  $12 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ , enviando 35 litros de água do rio Pacoti para o grupo controle, e 35 litros de efluente da criação de camarão para o grupo experimental. As bombas ficavam ligadas, em média, durante dois a três dias até a passagem exata de 35 litros. Durante os outros cinco a quatro dias da semana os cultivos eram deixados em descando, reiniciando o mesmo procedimento de irrigação na semana seguinte.

O plantio das primeiras mudas de *Batis maritima* nos sistemas foi feito após o 17º dia em que esse procedimento de irrigação estava sendo aplicado em cada caixa. O objetivo foi fertilizar a areia lavada com a água do rio Pacoti e com efluente da criação de camarão, respectivamente, nos sistemas um e dois, para verificação dos valores das variáveis físico-químicas na entrada e na saída, antes da interferência da presença das plantas. Ao total os sistemas funcionaram por 128 dias e o experimento com o cultivo das plantas durou 111 dias. O detalhamento do funcionamento e acessórios referente aos sistemas um e dois pode ser encontrado em Schardong (*et al.*, 2018).

#### ***IV.2.2 Substrato de cultivo das plantas: coleta de amostras e análises***

A coleta de amostras da areia usada como substrato para as plantas foi feita no início e no final do experimento. No início, a areia utilizada nos sistemas foi homogeneizada e separado 1 kg para realização das análises (Tabela 1). No final do experimento a areia de cada sistema foi homogeneizada, separadamente, armazenado 1 kg de areia de cada tratamento, em recipientes plásticos etiquetados. Amostras isoladas do quinto compartimento das caixas também foram coletadas.

A análise da areia foi feita no Laboratório de Solos/Água do Centro de Ciências Agrárias do Departamento de Ciências do Solo, de acordo com metodologia da EMBRAPA (1997).

### ***IV.2.3 Medições, coleta e preparo das amostras de plantas***

Medidas da altura de cada planta, do colo até a inserção da folha mais distante, foram feitas uma vez por semana com régua de alumínio. No início (1º dia) e ao final do experimento (111º dia), as plantas foram pesadas em balança analítica, individualmente. Os dados brutos da medida das plantas encontram-se no suplemento digital, disponível em <http://doi.org/10.6084/m9.figshare.7878179>.

Ao término do experimento todas as plantas foram coletadas e secadas em estufa à temperatura de 56° C durante quatro dias. Após a secagem foi realizada a pessão das raízes e partes aéreas, separadamente.

As partes aéreas (caule e folhas) secas foram colocadas em almofariz de porcelana e trituradas com pistilo de porcelana (Figura 2). O material triturado de cada tratamento foi homogeneizado, separadamente, armazenados em saco de papel, etiquetados e encaminhado para análise.

Figura 2 – Preparo das amostras secas: trituração das folhas com almofariz e pistilo de porcelana.



Fonte: Imagem feita pela autora.

#### ***IV.2.4 Determinação de minerais das partes aéreas das plantas***

A determinação dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, dióxido de silício, ferro, cobre, zinco e manganês das partes aéreas das plantas foi realizada no Laboratório de Solos/Água do Centro de Ciências Agrárias do Departamento de Ciências do Solo. As análises seguiram metodologia descrita por Mavolta (*et al.*, 1997). As determinações foram realizadas com as amostras homogeneizadas (caule e folhas), para cada tratamento experimental.

#### ***IV.2.5 Água do rio Pacoti e efluente da criação de camarões: medições, coleta de amostras e análises***

As variáveis temperatura, pH, sólidos totais dissolvidos, salinidade e oxigênio dissolvido da água do rio Pacoti e do efluente da criação de camarões foram medidas com o aparelho HI98194 Multiparâmetro Portátil de pH/EC/DO, nos recipientes de entrada e saída de cada sistema, uma vez por semana.

O ortofosfato foi analisado com testes Hach-Lange comerciais em espectrofotômetro (DR 2800 Spectrophotometer, Hach Company, Loveland, EUA). Os sólidos suspensos totais também foram medidos no espectrofotômetro. As amostras para as análises foram coletadas na entrada e saída dos sistemas, uma vez por semana. Os dados brutos dos resultados encontram-se no suplemento digital, disponível em <http://doi.org/10.6084/m9.figshare.7878179>.

#### ***IV.2.6 Análises estatísticas***

Gráficos, análises multivariadas, Anova com medidas repetidas no tempo e modelos mistos foram feitos no software R (R version 3.5.1, Boston, USA). A normalidade de cada variável foi avaliada com teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade de variâncias pelo teste Levene's. Nos dados que não atenderam os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias utilizou-se modelos mistos (pacotes lme4, nlme, ggplot2 e MuMIn). O valor *p* usado para determinar a significância de diferença entre os tratamentos foi de 0,05.

Foi feita análise de componentes principais (PCA), a qual é parte das análises multivariadas de ordenação. A padronização dos dados das variáveis físico-químicas foi feita

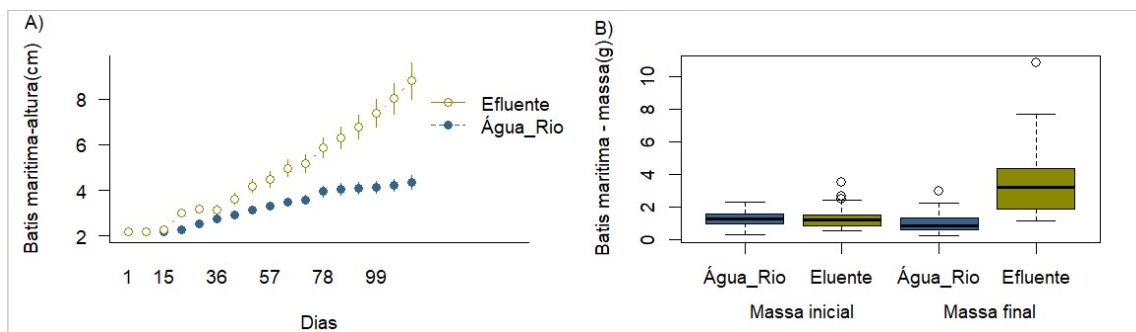
pelo próprio software. Foi verificado se as variáveis físico-químicas da água do rio e do efluente estavam relacionadas; assim como, a distribuição dos minerais em relação à irrigação com água do rio e com efluente.

### IV.3 Resultados

As plantas cultivadas com efluente de criação de camarão apresentaram desenvolvimento maior do que as cultivadas com água do rio Pacoti. Houve efeito estatisticamente significativo para a interação tratamentos e semanas para o crescimento em altura das plantas (Gráfico 1A).

Para a massa, mensurada em gramas, das plantas submetidas aos distintos tratamentos, houve diferenças significativas apenas para a massa final (Gráfico 1B). A soma da massa final das partes aéreas (caule e folhas) secas de todas as amostras de plantas cultivadas com água do rio Pacoti foi de 4,8 g e para as que foram cultivadas com efluente foi de 18,4 g. A biomassa total seca incluindo as raízes foi de 10,2 g quando irrigadas com água do Rio e 26,7 g quando irrigadas com efluente de carcinicultura.

Gráfico 1 – Desenvolvimento das mudas de *Batis maritima* cultivadas com água do rio Pacoti e com efluente de carcinicultura: gráfico de linhas do crescimento em altura semanal com média e erro padrão (A), e boxplot da massa inicial e final (B).



Fonte: elaborado pela autora.

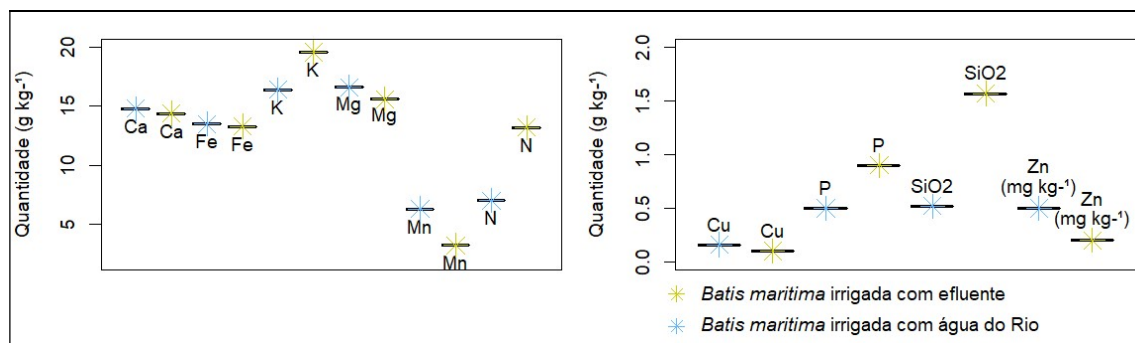
O teor de minerais das partes aéreas (caule e folhas) das plantas cultivadas com água do rio Pacoti diferiu do das plantas cultivadas com efluente (Tabela 2 e Gráfico 2). Os minerais cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe) apresentaram maior concentração em plantas tratadas com água do rio. Nitrogênio (N), potássio (K), fósforo (P) e dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>) foram maiores nas plantas cultivadas com efluente.

Tabela 2 – Teor de minerais nas partes aéreas (caules com folhas) das plantas de *Batis maritima* cultivadas com água do Rio e com efluente da criação de camarão.

Teor de minerais nas plantas	Água do Rio	Efluente de camarão
Cálcio - Ca ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	14,8	14,4
Ferro - Fe ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	13,5	13,5
Potássio - K ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	16,4	19,6
Magnésio - Mg ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	16,6	15,6
Manganês - Mn ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	6,3	3,3
Nitrogênio - N ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	7,0	13,2
Cobre - Cu ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	0,16	0,10
Fósforo - P ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	0,5	0,9
Dióxido de Silício – $\text{SiO}_2$ ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	0,5	1,6
Zinco – Zn ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	0,5	0,2

Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 2 – Gráfico com a disposição espacial do teor de minerais nas partes aéreas (caules com folhas) das plantas de *Batis maritima* cultivadas com água do Rio e com efluente da criação de camarão.



Fonte: elaborado pela autora.

A areia foi mais enriquecida com sódio, cálcio, magnésio, matéria orgânica, carbono, nitrogênio, potássio e dióxido de silício na amostra do compartimento cinco que recebeu efluente da criação de camarão (Tabela 2). A areia irrigada com água do Rio, da amostra geral e do compartimento cinco (C5), apresentou valores reduzidos para cálcio e silício (Tabela 3).

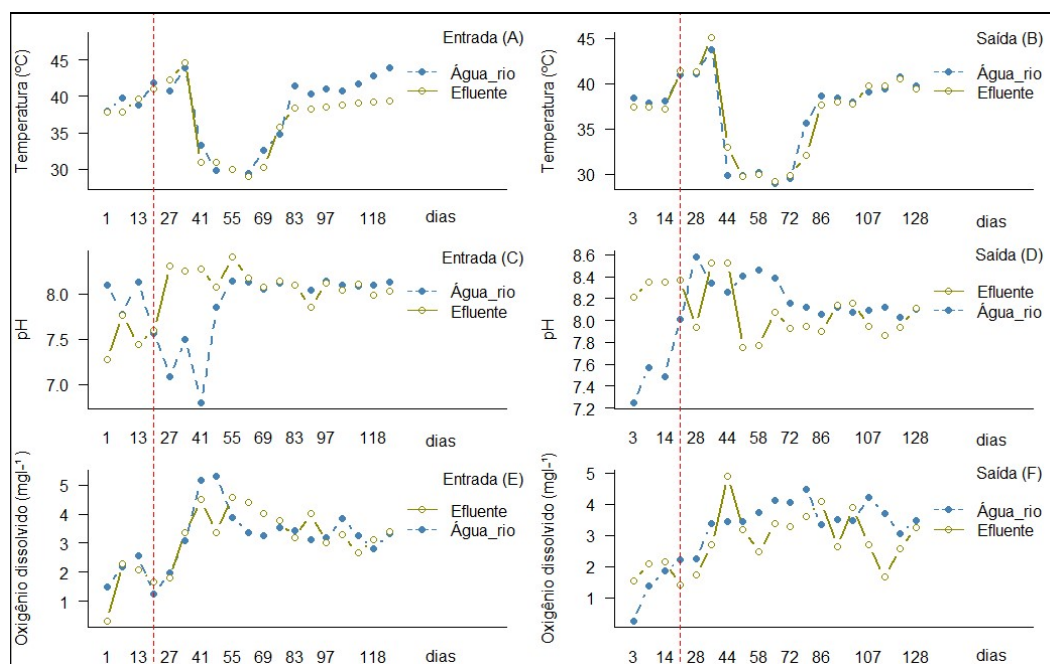
Tabela 3 – Análise de solo da areia: cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), carbono (C), matéria orgânica (MO), fósforo (P), dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ).

Irrigação	$\text{Ca}^{2+}$ (cmolc/kg)	$\text{Mg}^{2+}$ (cmolc/kg)	$\text{Na}^+$ (cmolc/kg)	$\text{K}^+$ (cmolc/kg)	C (g/kg)	N (g/kg)	MO (g/kg)	P assimilável	$\text{SiO}_2$ (mg/kg)
Inicial	1,0	0,7	0,56	0,06	0,72	0,07	1,24	21	36,02
Água do Rio	0,7	4,0	13,36	0,37	0,90	0,08	1,55	24	32,52
Água do Rio-C5	2,5	2,3	13,55	0,35	1,08	1,11	1,86	27	46,16
Efluente	4,2	2,2	16,80	0,44	1,02	1,09	1,76	18	39,86
Efluente-C5	4,5	2,7	16,06	0,48	1,32	0,12	2,28	21	38,99

Fonte: elaborado pela autora.

As variáveis físico-químicas da água do rio e do efluente mensuradas, antes e após, o plantio das espécies de *Batis maritima*, na entrada (Gráfico 2A, 2C, 2E, 3A, 3C, 3E, 3G) e na saída (Gráfico 2B, 2D, 2F, 3B, 3D, 3F, 3H) dos sistemas, estão representadas em gráficos de linhas. A linha vermelha pontilhada vertical separa os períodos sem (à esquerda) e com (à direita) as plantas. A temperatura manteve-se parecida entre as medições realizadas nos recipientes de entrada e de saída para a água do rio e do efluente nos sistemas.

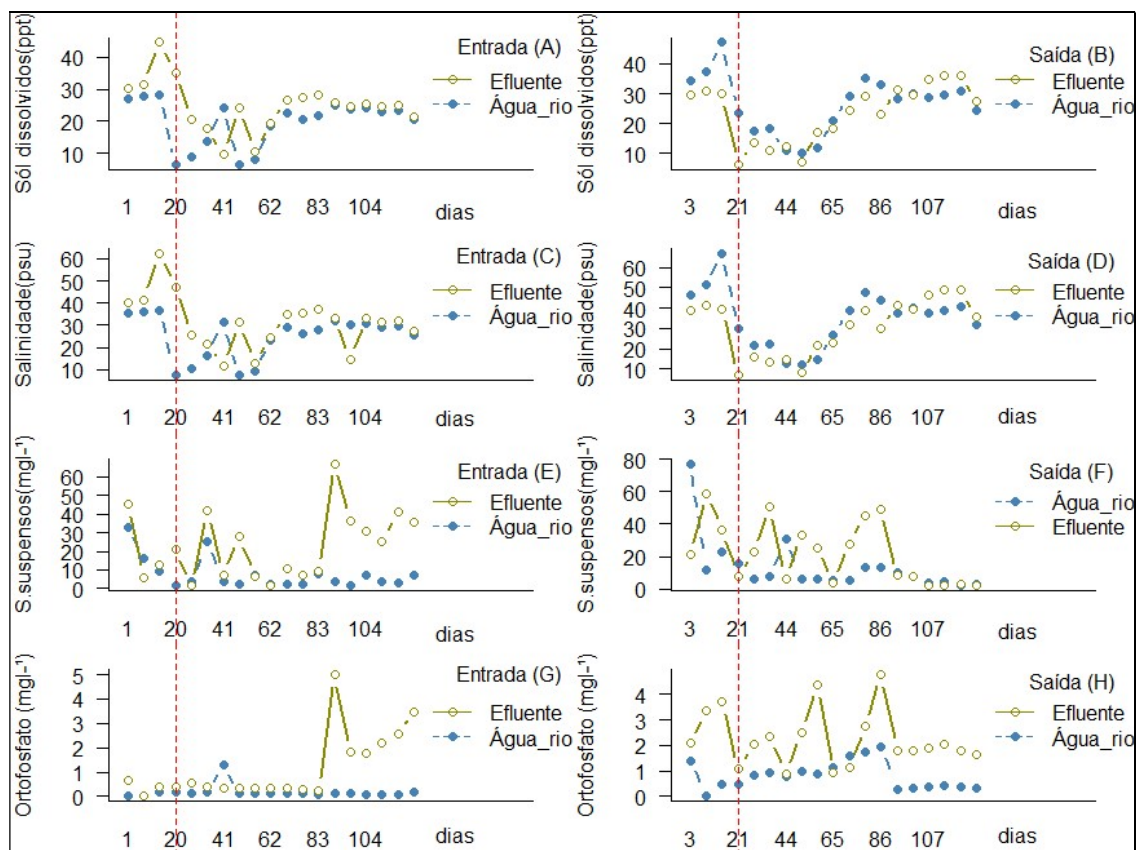
Gráfico 2 – Gráfico de linhas das variáveis: temperatura, pH e oxigênio dissolvido da água do Rio e do efluente nos recipientes de entrada e de saída, durante 128 dias. Linha vertical em vermelho separando o período anterior e posterior ao plantio das halófitas.



Fonte: elaborado pela autora.



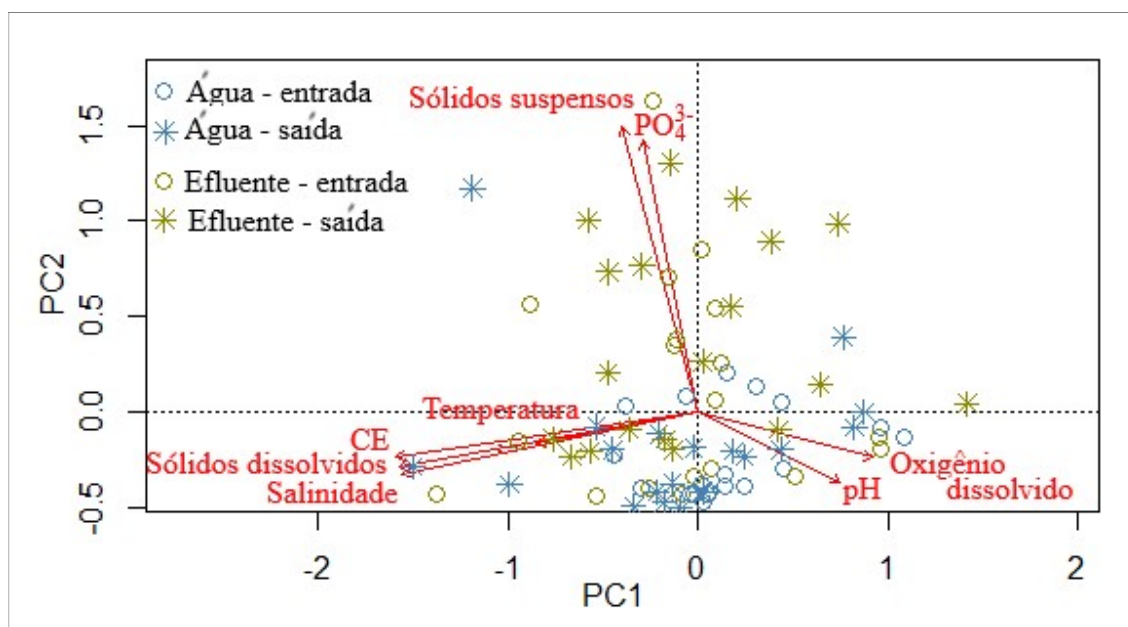
Gráfico 3 – Gráfico de linhas das variáveis: sólidos dissolvidos totais, salinidade, sólidos suspensos totais e ortofosfato da água do Rio e do efluente nos recipientes de entrada e de saída, durante 128 dias. Linha vertical em vermelho separando o período anterior e posterior ao plantio das halófitas.



Fonte: elaborado pela autora.

As amostras do efluente, tanto da entrada quanto da saída, estavam mais relacionadas positivamente a sólidos suspensos totais e ortofosfato (Figura 3), para o componente principal dois da PCA. Enquanto as amostras da água do rio estavam negativamente relacionadas. Salinidade, sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica explicaram negativamente o PC1 em oposição ao oxigênio dissolvido e pH (Figura 3). As amostras de água do Rio e efluente não apresentaram distribuição distinta ou agrupamento para o componente principal um.

Figura 3 – PCA das variáveis físico-químicas da água do Rio e do efluente na entrada e na saída dos sistemas de cultivo, no período de 128 dias.



Fonte: elaborado pela autora.

#### IV.4 Discussão

As plantas cultivadas com efluente obtiveram maior crescimento e ganho de biomassa, sendo explicado pela maior concentração de sólidos e ortofosfato no efluente da criação de camarão do que na água do Rio. Em sistemas de aquicultura intensivos com peixes ou camarões resíduos da ração, matéria orgânica e nitrogênio inorgânico tóxico rapidamente são acumulados no meio (AVNIMELECH, 2006; PINHEIRO *et al.*, 2017).

Estimou-se perdas de nitrogênio e fósforo de 28,6 kg e 4,6 kg, respectivamente, por tonelada de camarão produzido, em fazendas de cultivo em Sinaloa, México (PAÉZ-OSUNA *et al.*, 1997). Paéz-Osuna e colaboradores (1997) desenvolveram, nesse estudo no México, um modelo de balanço de massa para nitrogênio e fósforo e os fluxos estimados considerando a alimentação do camarão, adubação dos tanques, camarão estocado, colheita, macrofauna associada e trocas de água.

A avaliação da capacidade de remoção de sólidos e desnitrificação de água de criação de peixe marinho com planta hidropônica, biorreator de leito móvel e filtro de areia, demonstraram que houve remoção de fósforo e nitrogênio pelas halófitas *Sesuvium portulacastrum* e *Batis maritima* (BOXMAN *et al.*, 2018). Os pesquisadores concluíram que o fósforo foi removido permanentemente apenas pelas plantas, em quantidades de  $1,5 \pm 1,8$

gramas de fósforo por dia e  $2,30 \pm 0,0$  gramas de fósforo por dia. A contribuição das halófitas na absorção de nitrogênio, por dia, foi de  $9,4 \pm 11$  gramas de nitrogênio por dia e  $9,8 \pm 0,0$  gramas de nitrogênio por dia.

Os pesquisadores consideraram que o desempenho de *Batis maritima* não foi bom quando comparado ao da outra halófitas, alcançando peso seco de  $77,4 \pm 14$  g/m<sup>2</sup>, no primeiro período amostral de 79 dias, com taxa de sobrevivência de 30%. Houve aumento de nitrogênio na biomassa nos dias 244 e 272, respectivamente, em 6,9 g/m<sup>2</sup> e 10 g/m<sup>2</sup>; e o teor de fósforo aumentou de 0,2 g/m<sup>2</sup> para 0,62 g/m<sup>2</sup> (BOXMAN *et al.*, 2018).

No presente experimento, foram encontrados valores próximos para *B. maritima* cultivadas com o efluente da criação de camarão, sendo 70,4 g/m<sup>2</sup> de peso seco. Embora a taxa de sobrevivência (70%) e tempo de cultivo das plantas, 111 dias, tenham sido maiores aqui. No caso das plantas cultivadas com água do rio Pacoti os valores foram bem menores, sendo 28,7 g/m<sup>2</sup> de peso seco, com taxa de sobrevivência de 50%.

Houve relato de ganho de biomassa seca para *B. maritima* nativa, de 1794 g/m<sup>2</sup> ao ano, irrigadas com água do mar (40 ppt), em Puerto Pênasco, Sonora, México (O'LEARY *et al.*, 1985). Absorção e reciclagem de nutrientes de efluentes por halófitas podem ser limitados ou influenciados por diversos fatores intrínsecos as espécies em cultivo ou dependentes de fatores externos (BUHMANN; PAPENBROCK, 2013). Entre os fatores externos podem ser citadas técnicas aplicadas e nível de nutrientes disponíveis (BUHMANN; PAPENBROCK, 2013), assim como características do local do cultivo.

Para as plantas cultivadas com efluente, as partes aéreas de *Batis maritima* apresentaram fósforo (P) e nitrogênio (N) em teor maior do que as que foram cultivadas com água do estuário do rio Pacoti. Os teores totais de macronutrientes considerados adequados, na área foliar da gramínea colônias, são de 11,3 – 15,00 g/kg para nitrogênio e de 0,8-1,1 g/kg para fósforo (MALAVOLTA *et al.*, 1997), próximos dos valores encontrados no presente experimento para amostras irrigadas com efluente de camarão.

Nesse estudo, a salinidade na entrada dos sistemas variou de 7,6 a 32,1 psu para a água do Rio e 11,6 a 47,3 psu para o efluente de carcinicultura, representando em torno de 150 – 800 mM de NaCl, sem ter prejudicado o crescimento para a altura das plantas. A amplitude na variação da salinidade ocorreu em função das diluições realizadas no início do experimento para aclimação das plantas, tanto do efluente quanto da água do Rio. E em específico para a água do Rio foi devido às flutuações naturais de salinidade que ocorrem em estuários.

Experimento em que foram aplicadas diferentes concentrações de NaCl (0-

controle, 100, 200, 300, 400, 600, 800 e 1000 mM), durante dois meses, para cultivo de *Batis maritima*, as respostas com melhor crescimento e aumento de peso foi em 200 mM de NaCl (DEBEZ *et al.*, 2010). Em concentrações maiores de 300 mM o crescimento e ganho de biomassa foi prejudicado (DEBEZ *et al.*, 2010). Os minerais K, Ca e Mg em concentrações de NaCl entre 200 a 1000 mM apresentaram teores bem menores do que no presente estudo, com mais de 10 g/kg de diferença.

Levantamento de teores de íons nas folhas de ecótipos de *Salicornia persica* e *Sarcocornia fruticosa* também foram menores para  $K^+$  (2,6 – 3,0 mg/g),  $Mg^{2+}$  (0,8 – 1,20 mg/g) e  $Ca^{2+}$  (0,4 – 0,6 mg/g) (VENTURA *et al.*, 2011)

As concentrações dos principais íons minerais das plantas halofíticas (*Kalidium capsicum*, *Halostachys belangeriana*, *Salicornia europaea*, *Climacoptera lanata*, *Climacoptera brachiata*, *Suaeda paradoxa*, *Nitens atriplex*, *Karelinia caspia* e *Glycyrrhiza glabra*) foram determinadas em extratos aquosos de biomassa por Akinshina e colaboradores (2016). Os resultados para potássio nessas plantas apresentaram valores de 2,53 a 18,72 mg/g (AKINSHINA *et al.*, 2016). Alguns valores estavam próximos dos encontrados nesse estudo em *Batis maritima*, correspondendo a 16,4 g/kg nas plantas irrigadas com água do estuário e 19,6 g/kg nas plantas irrigadas com água dos efluentes da carcinicultura. A variação do teor de minerais em plantas distintas, que podem ser da mesma espécie, é explicada pela origem das plantas, ou seja, o local em que são coletadas sob condições ambientais ou cultivos diferenciados que influenciam na composição mineral das mesmas (BERTIN *et al.*, 2014).

Os teores foliares de micronutrientes, considerados adequados, para ferro (25 – 900 mg/kg) e manganês (4 – 600 mg/kg) das principais cultruras produtivas (MALAVOLTA *et al.*, 1997) estão abaixo dos encontrados nesse estudo (Gráfico 2).

O teor de dióxido de silício foi quase o dobro nas folhas das plantas cultivadas com efluente comparado ao das plantas cultivadas com água do rio. Estudos indicam que sílico pode melhorar desequilíbrios nutricionais nas plantas submetidas a estresse abiótico (MORENO *et al.*, 2013). Embora o sílico não seja considerado um macronutriente ou micronutriente essencial, reduz a toxicidade sob estresse salino, diminuindo a acumulação de íons tóxicos e/ou melhorando a circulação de água nas plantas (XIE *et al.*, 2014).

#### IV.5 Conclusões

O teor de minerais na parte aérea das mudas de *Batis maritima* cultivadas com água do estuário do rio Pacoti e efluente de camarão foi diferente. Isso comprova que o tipo de nutriente ofertado influencia na composição química das plantas. Outros estudos, com

réplicas, são necessários para ampliar a confiabilidade dos dados obtidos.

### Agradecimentos

Agradecimento especial ao professor Alberto Jorge Pinto Nunes e à sua equipe pelo espaço cedido e apoio para o desenvolvimento da pesquisa no CEAC – UFC. À empresa ACP Engenharia pela doação das caixas de fibra de vidro. E à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap) pela bolsa de doutorado concedida.

### Referências

AKINSHINA, N.; AZIZOV, A.; KARASYOVA, T.; KLOSE, E. On the issue of halophytes as energy plants in saline environment. **Biomass and Bioenergy**, v. 92, p. 306-311, 2016.

AVNIMELECH, Y. Bio-filters: The need for an new comprehensive approach. **Aquacultural Engineering**, v. 34, p. 172-178, 2006.

BERTIN, Renata Labronici; GONZAGA, Luciano Valdemiro; BORGES, Graciele Da Silva Campelo; AZEVEDO, Mônia Stremel; MALTEZ, Heloisa França; HELLER, Melina; MICKE, Gustavo Amadeu; TAVARES, Lorena Benathar Ballod; FETT, Roseane. Nutrient composition and, identification/quantification of major phenolic compounds in *Sarcocornia ambigua* (Amaranthaceae) using HPLC–ESI-MS/MS. **Food Research International**, v. 55, p. 404–411, 2014.

BOXMAN, Suzanne; NYSTROM, Michael; ERGAS, Sarina; MAIN, Kevan; TROTZ, Maya. Evaluation of water treatment capacity, nutrient cycling, and biomass production in a marine aquaponic system. **Ecological Engineering**, v. 120, p. 299-310, 2018.

BUHMANN, A.; PAPENBROCK, J. Biofiltering of aquaculture effluents by halophytic plants: Basic principles, current uses and future perspectives. **Environmental and Experimental Botany**, v. 92, p. 122-133, 2013.

DEBEZ, Ahmed.; SAADAOU, Dhouha; SLAMA, Inês; HUCHZERMEYER, Bernhard; ABDELLY, Chedly. Responses of *Batis maritima* plants challenged with up to two-fold seawater NaCl salinity. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 173, p. 291-299, 2010.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Revisada e atualizada. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos\\_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf). Acesso em: 22 nov. 2018.

FAO. **The State of Food and Agriculture: Leveraging food systems for inclusive rural transformation**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017. URL (<http://www.fao.org/3/a-I7695e.pdf>). Acesso em: 20 nov.2018.

GUIMARÃES, L.L.; MONTEIRO, C.C.; MOURA, S.G.B.; LIMA, V.C.S.; BONILLA, O.H.; GOMES-FILHO, E. Tolerância de *Batis maritima* L. Submetida a Tratamentos Salinos. **4526-**

4531. 10.12702/ii.inovagri.2014-a609. 2014.

KSOURI, Riadh; KSOURI, Wided Megdiche; JALLALI, Inès; DEBEZ, Ahmed; MAGNÉ, Christian; HIROKO, I.; ABDELLY, Chedly. Medicinal halophytes: potent source of health promoting biomolecules with medical, nutraceutical and food applications. **Critical Review in Biotechnology**, n. 4, v. 32, p. 289-326, 2012.

LONARD, Robert I.; JUDD, Frank W.; STALTER, Richard. The Biological Flora of Coastal Dunes and Wetlands: *Batis maritima* C. Linnaeus. **Journal of Coastal Research**, n. 3, v. 7, p. 441-449, 2011.

MARCONE, Massimo F. *Batis maritima* (Saltwort/Beachwort): a nutritious, halophytic, seed bearings, perennial shrub for cultivation and recovery of otherwise unproductive agricultural land affected by salinity. **Food Research International**, n. 2, v. 36, p. 123-130, 2003.

MAVOLTA, E.; VITTI G.; OLIVEIRA, S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2<sup>a</sup> ed. rev. e atual. Piracicaba: Potapos, 1997.

MORENO, M.; SÁENZ, L.; GONZÁLEZ, H. **Protocolo de Sanidad para el cultivo del camarón blanco en el estado de Baja California**. Mexicali: CESAIBC, 2008.

O'LEARY, J. W.; GLENN, E. P.; WATSON, M.C. Agricultural production of halophytes irrigated with seawater. **Plant and Soil**, v. 89, n. 1-3, p. 311-321, 1985.

PAÉZ-OSUNA, F.; GUERRERO-GALVÁN, S.; RUIZ-FERNÁNDEZ, A.; ESPINOZA-ANGULO, R. Fluxes and mass balances of nutrients in a semi-intensive shrimp farm in north-western Mexico. **Marine Pollution Bulletin**, v. 34, n. 5, p. 290-297, 1997.

PINHEIRO, Isabela.; ARANTES, Rafael; SANTO, Carlos.; VIEIRA, Felipe; LAPA, Katt; GONZAGA, Luciano; FETT, Roseane; BARCELOS-OLIVEIRA, Jorge; SEIFFERT, Walter. Production of the halophyte *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in an aquaponic system with biofloc technology. **Ecological Engineering**, v. 100, p. 261-267, 2017.

R CORE TEAM (2018). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RAO, P. V. Subba; MANTRI, Vaibhav A.; GANESAN, K. Mineral composition of edible seaweed *Porphyra vietnamensis*. **Food Chemistry**, v. 102, p. 215-218, 2007.

RAVEN, Peter H.; EVERT, Ray F.; EICHHORN, Susan E. **Biologia Vegetal**. 7<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

RHEE, M. H.; PARK, H.J.; CHO, J.Y. *Salicornia herbacea*: botanical, chemical and pharmacological review of halophyte marsh plant. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 3, n. 8, p. 548-555, 2009.

SCHARDONG, Roberta Moriconi F.; BONILLA, Oriel H.; SANTAELLA Sandra T. Cultivo de *Batis maritima*, *Sarcocornia ambigua* e *Sporobolus virginicus* com água residuária de criação de *Litopenaeus vannamei*. **Biotemas**, v. 31, n. 2, p. 19-32, 2018.

SHAER, Hassan. M. Halophytes and salt-tolerant plants as potential forage for ruminants in the Near East region. **Small Ruminant Research**, v. 91, n. 1, p. 3-12, 2010.

SQUIRES, V R.; AYOUB, A. T. Halophytes as a resource for livestock and for rehabilitation of degraded lands. Dordrecht/ Boston/ London: Kluwer Academic Publishers, 1992.

SOUZA, Vinícios C.; LORENZI, Harri. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas do Brasil, baseado em APG II**. 2ª edição. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2008.

UNITED NATIONS. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. 2015. Disponível em: URL ([http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E)). Acesso em: 10 out. 2018.

VENTURA, Y.; WUDDINEH, W.; MYRZABAYEVA, M.; ALIKULOV, Z.; GOLDBERG, I.; SHPIGEL, M.; SAMOCHA, T.; SAGI, M. Effect of seawater concentration on the productivity and nutritional value of annual *Salicornia* and perennial *Sarcocornia* halophytes as leafy vegetable crops. **Scientia Horticulturae**, v. 128, p. 189-196, 2011.

XIE, Meng; Xu, YUANGUO; SHEN, Haijun; SHEN, Song; GE, Yanru; XIE, Jimin. Negative-charge-functionalized mesoporous silica nanoparticles as drug vehicles targeting hepatocellular carcinoma. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 474, n.1-2, p. 223-231, 2014.

## 2. CONCLUSÃO DA TESE

Os resultados dos experimentos demonstraram que:

- A halófitas *Batis maritima* cultivada com efluente de camarão apresentou melhor desempenho do que quando irrigada com água do rio Pacoti.
- A técnica do filme de nutrientes proporcionou melhor desempenho para o desenvolvimento das plantas do que em substrato de espuma fenólica ou em areia.
- As estruturas mais adequadas para o cultivo das plantas foram as confeccionadas com cano PVC de diâmetro de 40 mm e fluxo contínuo de água.
- O sistema de aquaponia proporcionou melhoria da qualidade da água com redução de sólidos suspensos totais, amônia e ortofosfato.
- O índice de produção de camarão em cultivo integrado com as halófitas manteve-se adequado quando comparado a outros estudos.
- Nos tratamentos experimentais com plantas foi observado que a taxa de sobrevivência dos camarões sempre foi maior do que nos tratamentos controle sem o cultivo de plantas.
- O cultivo integrado dessas plantas com a criação de camarão demonstrou ser promissor com possibilidade de trazer ganhos ambientais e econômicos à cadeia produtiva de camarões.



### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS DA TESE

As condições edafoclimáticas do nordeste brasileiro foram favoráveis para o amplo desenvolvimento da atividade de carcinicultura culminando, atualmente, em impasses perante questões de sanidade dos animais cultivados e controle de impactos ambientais. Nesse contexto, a perspectiva para ampliação desse setor produtivo, de forma ampla e segura, perpassa pela inclusão de práticas que agreguem valor ao produto, resguardando tanto o aspecto sanitário quanto promovendo o marketing da sustentabilidade.

A resiliência dos camarões a doenças pode ser favorecida com tecnologias de produção que melhorem a qualidade da água de cultivo. Isso também contribui com a imagem do produto pelo marketing verde ou marketing ambiental, o qual foca em formas produtivas que não causem danos ambientais possibilitando, assim, a expansão das fronteiras de comercialização dos produtos para mercados cada vez mais exigentes nesse aspecto.

Os resultados dessa pesquisa vêm de encontro a esse contexto atual, no qual a criação de camarão integrada ao cultivo das plantas halófitas apresentaram resultados positivos para a melhoria da qualidade da água de cultivo possibilitando economia de água em sistemas de recirculação. De forma indireta, culmina em melhoria da segurança sanitária, ao evitar trocas constantes de água com o meio, e; agrega valor a cadeia produtiva do camarão com um segundo produto potencial para comercialização, ou seja, as plantas que podem servir de alimento tanto para animais como para o ser humano. São dois produtos que podem ser cultivados juntos, proteína animal e produção agrícola, gerando economia de recursos e que tem se apresentado como imprescindíveis para atender a demanda do crescimento populacional.

Desta forma, as espécies halófitas *Batis maritima* e *Sarcocornia ambigua*, que obtiveram desenvolvimento melhor nesse estudo, podem agregar valor a cadeia produtiva do camarão em diferentes aspectos, tais como, social, econômico e ambiental. Para tanto, evidencia-se a importância da continuidade de pesquisas que ampliem a investigação do potencial alimentício dessas halófitas estudadas incluindo a determinação de todo o perfil mineral, presença de metais pesados e a investigação da natureza nutricional e tóxica dessas plantas, quando cultivadas com efluente de camarão, para indicações de uso e possibilidades de comercialização.

Os protótipos construídos, de forma inédita para essa tese para testagem, apresentaram bom desempenho, sendo necessárias adequações para uso em campo sob tanques de criação de camarão. As adequações incluem a instalação de suporte ou apoio para

que as estruturas de cultivo fiquem na superfície do espelho d'água dos tanques de fazendas de camarão, e; uso de bombas movidas à energia solar para fornecimento de fluxo contínuo de água. Os protótipos testados são uma tecnologia de conhecimento, sendo um produto resultante desta tese, que podem ser reproduzidos em pequena escala para produção dessas espécies halófitas em fazendas de camarão com baixo custo de investimento.

Sendo assim, pequenos produtores, também, podem ser beneficiados assegurando-se de uma segunda fonte de renda com a diminuição de risco de perdas totais de investimentos quando há apenas um produto ao final do ciclo de cultivo. Além disso, o uso de tecnologias baratas para melhoria da qualidade da água, com aproveitamento da biomassa vegetal produzida para a alimentação de animais ruminantes, criados em pequenas propriedades, proporciona economia e otimização de recursos.